

UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA
Faculdade de Ciências e Tecnologia
Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente

ESTUDO DE ÁREAS PARA IMPLEMENTAÇÃO DE TECNOLOGIAS PARA APROVEITAMENTO DA ENERGIA DAS ONDAS NA ILHA DA MADEIRA

Duarte Miguel Melim Gonçalves Henriques

Dissertação apresentada na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, perfil de Engenharia Ecológica.

Orientador: Prof.^a Doutora Paula Sobral (FCT-UNL)

Lisboa

2009

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, gostaria de dirigir uma palavra de agradecimento à Prof.^a Doutora Paula Sobral pela sua orientação, apoio, esclarecimento de questões e observações pertinentes, bem como toda a atenção e disponibilidade demonstradas durante o período de realização deste trabalho.

Gostaria igualmente de agradecer ao Prof. Doutor António Sarmento, do Centro de Energia das Ondas, pelos conselhos que me deu, no âmbito do seminário sobre a “Energia das Ondas em Portugal no Contexto Internacional”, e que se revelaram importantes para a elaboração do presente estudo.

Agradeço também ao Primeiro-Tenente Paulo Maia Marques, do Instituto Hidrográfico, pela cedência dos dados que serviram de base para a parte prática.

Agradeço, de igual modo, à Eng.^a Cecília Correia, do Instituto dos Portos da Madeira, pelo apoio, disponibilidade e simpatia demonstrados durante a fase de recolha dos dados relativos às bóias-ondógrafo e à navegação nos portos da Madeira.

Gostaria ainda de agradecer à Eng.^a Gorete Soares, da Agência Regional da Energia e Ambiente da Região Autónoma da Madeira (AREAM), pela cedência dos dados relativos à base ONDATLAS.

Deixo um agradecimento muito especial aos meus pais, irmã e avós, pelo apoio constante e pela compreensão demonstrada ao longo de todo o curso.

Deixo uma palavra de agradecimento igualmente especial para a Patrícia, cujo apoio e carinho foram importantes em todos os momentos.

Por último, gostaria de agradecer aos meus amigos Pedro Sequeira e Bruno pelo companheirismo e pelo apoio que sempre me deram durante a elaboração deste trabalho.

RESUMO

Esta dissertação tem como objectivo principal a avaliação da energia das ondas, como fonte energética alternativa, e a determinação de áreas marítimas para a implementação de tecnologias de aproveitamento dessa energia, ao largo da costa insular da Madeira. Nesse âmbito, o presente trabalho fundamentou-se num conjunto de estudos prévios, sobre o aproveitamento da energia das ondas em Portugal Continental, tendo-se comparado essa fonte de energia com outras fontes de energia mais convencionais, a nível económico e ambiental.

Tomando como base os dados provenientes do ONDATLAS para a costa da Ilha da Madeira, relativos aos diversos parâmetros ondulatórios, o presente estudo procurou estabelecer relações de custo/benefício a nível ambiental, económico e energético, para essa fonte de energia. Para tal, consideraram-se as soluções tecnológicas actualmente existentes, para aproveitamento da energia das ondas. Nesse âmbito concluiu-se que a tecnologia “Pelamis” é aquela que apresenta maior viabilidade para implementação a curto/médio prazo, devido ao seu avançado estado de desenvolvimento, encontrando-se actualmente em fase experimental na zona piloto da Aguçadoura, perto da Póvoa de Varzim.

Através de análise SIG, efectuou-se uma selecção e cruzamento da informação geográfica pertinente aos dados recolhidos, com o objectivo de avaliar possíveis conflitos de uso e outras restrições. Dessa análise multicritérios, determinaram-se três áreas favoráveis à implementação de parques de ondas, ao largo da costa da Madeira, uma na zona Oeste, outra na zona Norte e a última na zona Este da ilha, tendo em consideração o impacto ambiental produzido.

Para as áreas determinadas, efectuou-se um breve estudo de viabilidade económica, considerando fases progressivas de implementação da tecnologia “Pelamis”. Desse estudo concluiu-se que a sua aplicação pode ser economicamente viável a médio/longo prazo, dependendo da capacidade de investimento inicial, que poderá contribuir para um desenvolvimento energético sustentável.

ABSTRACT

The main objectives of this work is the evaluation of the potential of wave energy, as an alternative energy source, and the determination of offshore areas for the implementation of wave energy technologies, along the coastline of Madeira. For that purpose, the present work was based on previous studies about the use of wave energy in Portugal Continental. In this context, wave energy was compared with other conventional energy sources, at the economical and environmental levels.

Using data from ONDATLAS, for various wave parameters, along the coastline of Madeira, this study sought to establish benefit/cost relations at the environmental, economical and energetic levels. For that purpose, several wave power technologies were considered. In this context, it was concluded that the "Pelamis" technology is the most viable one for implementation in the short/medium term, due to its advanced state of development. This technology is currently being tested in the pilot area of Aguçadoura, near Póvoa de Varzim.

The selection and cross-relation between all collected data was made, using GIS analysis, in order to evaluate possible conflicts and restrictions. Given the environmental impact, this multi-criteria analysis resulted in the selection of three areas particularly suitable for the offshore implementation of wave parks in Madeira, one in the West, another one in the North, and the last one in the East part of the island.

For those areas, a brief economical viability study was made, considering progressive implementation stages of wave parks in Madeira, using the "Pelamis" technology. From this study it was concluded that this application may be economically viable in the medium/long term, depending on initial investments, and that it may contribute to a sustainable energy development of the island.

SIMBOLOGIA E NOTAÇÕES

A	– amplitude de onda sinusoidal
c	– velocidade de fase ou celeridade
d_{θ}	– coeficiente de direccionalidade
f	– frequência de onda
f_p	– frequência de pico
g	– aceleração da gravidade
H	– altura da onda sinusoidal
H_s	– altura significativa
H_{max}	– altura máxima
H_{m0}	– altura média
k	– número de onda
k_e	– número de onda médio espectral
L	– comprimento de onda
P	– potência ou fluxo de energia
P_{θ}	– potência ou fluxo de energia segundo a direcção θ
T	– período de onda (inverso da frequência)
T_e	– período de energia
T_{max}	– período máximo
T_p	– período de pico
T_{02}	– período médio
x	– coordenada horizontal de um sistema de eixos ortogonais Oxy
y	– coordenada vertical de um sistema de eixos ortogonais Oxy
ρ	– massa específica ou densidade absoluta
θ	– rumo da agitação ao largo
λ	– comprimento de onda
ω	– frequência angular
APA	– Agência Portuguesa do Ambiente
AQUARET	– Aquatic Renewable Energy Technologies
AREAM	– Agência Regional da Energia e Ambiente da Região Autónoma da Madeira
AWS	– archimedes waveswing
CELE	– Comércio Europeu de Licenças de Emissão
DGEG	– Direcção Geral de Energia e Geologia
ECMWF	– European Center for Medium range Weather Forecasting
EEM	– Empresa de Electricidade da Madeira
EFC	– Energia Final Consumida

EIA – Energy Information Administration
EMEC – European Marine Equipment Council
EPTF – Energia Primária Total Fornecida
FPC – Fundo Português de Carbono
GCP – Global Carbon Project
IEA – International Energy Agency
IH – Instituto Hidrográfico
INETI – Instituto Nacional de Engenharia Tecnologia e Inovação
IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change
MAR3G – Modelo do Estado do Mar
Mtep – Milhões de Toneladas Equivalentes de Petróleo
NAREC – New and Renewable Energy Centre
NOOA – National Oceanic and Atmospheric Administration
OCDE – Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico
ONDATLAS – Atlas de Ondas
PALOP – Países Africanos de Língua Oficial Portuguesa
PNAC – Programa Nacional para as Alterações Climáticas
PNALE – Plano Nacional de Atribuição de Licenças de Emissão
PPERAM – Plano de Política Energética da Região Autónoma da Madeira
RCM – Resolução do Conselho de Ministros
SIG – Sistema de Informação Geográfica
SNIERPA – Sistema Nacional de Inventário de Emissões por Fontes e Remoção de Poluentes Atmosféricos
TIN – Triangular Irregular Network
UE – União Europeia
WGS 84 – World Geodetic System dating from 1984

ÍNDICE GERAL

Índice de Figuras	xiii
Índice de Tabelas	xvii
1. Introdução	1
2. Caracterização da Produção de Energia	3
2.1 Utilização de Energia a Nível Mundial	3
2.1.1 As energias renováveis como fontes primárias	9
2.1.2 Desenvolvimento das energias renováveis a nível mundial	10
2.2 Utilização da Energia em Portugal continental e na R. A. Madeira	12
2.2.1 Enquadramento da política energética nacional no contexto europeu	12
2.2.2 Consumo energético primário e final no território nacional	15
2.2.3 Consumo energético primário e final na R. A. Madeira	19
2.2.4 Estratégias de desenvolvimento energético da R. A. Madeira	21
3. Energia das Ondas	27
3.1 Ondas	27
3.1.1 Princípios físicos da teoria ondulatória	27
3.1.2 Geração e evolução de ondas	32
3.1.3 Classificação de ondas	35
3.2 Enquadramento Geofísico e Oceanográfico	36
3.2.1 Sedimentologia	37
3.2.2 Batimetria da plataforma insular	38
3.2.3 Principais correntes oceânicas e atmosféricas	39
3.2.4 Marés e ondulação	41
3.2.5 Salinidade e densidade	42
3.2.6 Temperatura e precipitação	42
3.3 Potencial Energético da Costa da R. A. Madeira	44
3.3.1 Direcção das ondas e da potência das ondas	46
3.3.2 Altura significativa	47
3.3.3 Período de pico	48
3.3.4 Período de energia	49
3.3.5 Densidade de potência.	50
	ix

3.4 Bóias-Ondógrafo no Arquipélago da Madeira	51
3.4.1 Bóia-ondógrafo do Funchal	52
3.4.2 Bóia-ondógrafo do Caniçal	54
4. Tecnologias de Energia das Ondas	57
4.1 Ciclo de Vida da Tecnologia	57
4.1.1 Concepção e planeamento	57
4.1.2 Construção e instalação	58
4.1.3 Funcionamento e gestão	59
4.1.4 Desmantelamento	60
4.2 Soluções Tecnológicas	60
4.2.1 Atenuador	61
4.2.2 Pequeno sistema oscilante com simetria axial	61
4.2.3 Conversor oscilante de translação das ondas	61
4.2.4 Coluna de água oscilante	62
4.2.5 Dispositivo de galgamento	62
4.2.6 Dispositivo submerso de diferença de pressão	63
4.2.7 Mecanismos de conversão de energia	63
4.3 Caracterização dos Locais de Instalação	64
4.3.1 Tecnologias costeiras e perto da costa	64
4.3.2 Tecnologias afastadas da costa	65
4.4 Condicionantes Ambientais e Económicas	66
4.4.1 Impacte ambiental	66
4.4.2 Factores económicos	68
4.5 Tecnologia Pelamis	70
4.5.1. Vantagens desta tecnologia	70
4.5.2. Âmbito de aplicação	71
4.5.3. Especificações técnicas	72
4.5.4. Impacte ambiental do Pelamis	72
5. Estudo SIG para Determinação de Áreas de Concessão	75
5.1 Recolha de Dados Para Análise SIG	75
5.2 Tratamento de Informação para Análise SIG	76
5.2.1 Criação de camadas (<i>layers</i>).	76
5.2.2 Determinação de critérios de classificação	77
5.2.3 Reclassificação de camadas.	78

5.2.4 Identificação de conflitos de uso (restrições)	79
5.2.5 Factores de ponderação	81
6. Análise SIG dos Resultados	83
6.1 Apresentação das Regiões de Interesse.	83
7. Breve Estudo de Viabilidade Económica	89
8. Considerações Finais	97
Referências Bibliográficas	99
Anexo A	105
Anexo B	109
Anexo C	133

ÍNDICE DE FIGURAS

2.1 Evolução do consumo energético mundial, por região. (IEA, 2008).	4
2.2 Distribuição do consumo energético mundial, por região. (IEA, 2008).	4
2.3 Cenários de evolução da emissão de CO ₂ no Mundo. Adaptado (IPCC, 2007).	8
2.4 Concentração mensal de CO ₂ atmosférico. Adaptado (NOAA, 2009)	8
2.5 Consumo de fontes primárias a nível mundial, de 1980 a 2030. Adaptado (EIA, 2008).	9
2.6 Consumo de energia eléctrica a nível mundial, de 1990 a 2050. Adaptado (EIA, 2008).	9
2.7 Evolução do consumo nacional de energia primária, por fonte. (DGEG, 2008).	15
2.8 Produção de energia eléctrica, a partir de fontes de energia renováveis. (DGEG, 2008).	16
2.9 Consumo de energia eléctrica, nos vários sectores económicos. (DGEG, 2008).	16
2.10 Evolução do consumo nacional de energia final, por sector. (APA, 2007).	17
2.11 Consumo de energia final <i>per capita</i> na UE, em 2005. (APA, 2007).	18
2.12 Localização das centrais termoeléctricas na R. A. Madeira. (EEM, 2008).	19
2.13 Localização das centrais hidroeléctricas na R. A. Madeira. (EEM, 2008).	19
2.14 Localização dos parques eólicos na R. A. Madeira. (EEM, 2008).	20
2.15 Emissão de energia por fonte de energia primária. (EEM, 2007).	20
2.16 Central hidroeléctrica dos Socorridos. (http://vp.gov-madeira.pt/).	22
2.17 Diagrama da central hidroeléctrica da Calheta. (http://vp.gov-madeira.pt/).	23
2.18 Produção de biocombustível de origem marinha. (http://vp.gov-madeira.pt/)	24
2.19 Gráfico de emissões de CO ₂ , previstas na produção de energia eléctrica, após a conclusão do projecto de gás natural, e num período até 2030. (http://vp.gov-madeira.pt/).	25
2.20 Localização do reservatório de gás natural liquefeito. (http://vp.gov-madeira.pt/).	26
2.21 Potenciais pontos de abastecimento. (http://vp.gov-madeira.pt/).	26
3.1 Representação esquemática de uma onda sinusoidal. Adaptado (Bueche, 1983).	28
3.2 Ondulações individuais. (Carbon Trust, 2006).	29
3.3 Ondulação complexa. (Carbon Trust, 2006).	29
3.4 Refracção de ondas junto à linha da costa. Adaptado (Cruz e Sarmiento, 2005).	31
3.5 Difraccção de ondas na entrada dum porto. Adaptado (Thurman, 1997).	32
3.6 Interacção da circulação atmosférica com o mar. Adaptado (Open University, 1991).	33
3.7 Esquema do movimento das moléculas de água. Adaptado (Garrison, 2001).	34
3.8 Deformação das ondas com a batimetria. Adaptado (Duxbury e Sverdrup, 2000).	35
3.9 Variação da trajectória das moléculas de água com a profundidade. Adaptado (Thurman, 1997).	35
3.10 Distribuição espectral da energia das ondas superficiais. Adaptado (Kinsman, 1965).	36
3.11 Batimetria da costa da R. A. Madeira. Adaptado (IH, 2008).	38

3.12	Circulação das correntes que contornam as Ilhas pelos extremos. (Nasa, 2003).	39
3.13	Circulação atmosférica e correntes superficiais. Adaptado (Ferreira et al, 2005).	40
3.14	Hidrologia do espaço português no Atlântico Oriental. (Ferreira et al, 2005).	40
3.15	Temperatura média anual na R.A.Madeira. (Santos e Aguiar, 2006)	43
3.16	Precipitação média anual e sazonal (Inverno e Verão). (Santos e Aguiar, 2006)	43
3.17	Distribuição geográfica dos pontos de medição da agitação marítima, em redor da costa da Ilha da Madeira. Adaptado (Agência Portuguesa do Ambiente, 2007)	45
3.18	Parâmetro da direcção média anual das ondas (AREAM, 2008).	46
3.19	Parâmetro da direcção média anual da potência das ondas (AREAM, 2008)	47
3.20	Parâmetro de altura significativa das ondas (AREAM, 2008).	48
3.21	Parâmetro do período de pico das ondas (AREAM, 2008).	49
3.22	Parâmetro do período de energia das ondas (AREAM, 2008).	49
3.23	Parâmetro da densidade de potência anual das ondas (AREAM, 2008).	50
3.24	Localização das bóias-ondógrafo na costa da Madeira (APA, 2008)	51
3.25	Altura significativa das ondas do Funchal. (IH, 2009)	52
3.26	Direcção média das ondas medidas pela bóia-ondógrafo do Funchal. (IH, 2009)	53
3.27	Período médio e máximo das ondas no Funchal. (IH, 2009)	53
3.28	Altura significativa das ondas medidas pela bóia-ondógrafo do Caniçal. (IH, 2009)	54
3.29	Direcção média das ondas medidas pela bóia-ondógrafo do Caniçal. (IH, 2009)	55
3.30	Período médio e máximo das ondas no Caniçal. (IH, 2009)	55
4.1	Dispositivo do tipo atenuador. (www.aquaret.com)	61
4.2	Pequeno sistema oscilante com simetria axial. (www.aquaret.com)	61
4.3	Conversor oscilante de translação das ondas. (www.aquaret.com)	62
4.4	Coluna de água oscilante. (www.aquaret.com)	62
4.5	Dispositivo de galgamento de ondas. (www.aquaret.com)	63
4.6	Dispositivo submerso de diferença de pressão. (www.aquaret.com)	63
4.7	Custo de produção da energia das ondas, (Melo, 2009)	69
4.8	Conversor de energia das ondas Pelamis P1-A (750kW). (www.pelamiswave.com)	71
4.9	Sistema de fixação do Pelamis. (www.pelamiswave.com)	71
4.10	Dispositivo Pelamis. Módulo de conversão. Adaptado (www.pelamiswave.com)	72
5.1	Exemplo do TIN elaborado para a batimetria da Ilha da Madeira.	76
5.2	Reclassificação da altura media anual das ondas para a Ilha da Madeira.	78
5.3	Camada resultante dos factores de ponderação.	81
6.1	Zonas de conflito de uso marítimo em redor da Ilha da Madeira.	84
6.2	Resultados finais dos factores de ponderação.	84
6.3	Recortes ampliados das áreas de concessão.	85
6.4	Resultados finais dos factores de ponderação em relação ao declive do terreno.	86

7.1 Área de concessão na costa Norte na Ilha da Madeira.	90
7.2 Áreas de concessão na costa Oeste na Ilha da Madeira.	91
7.3 Área de concessão na costa Este na Ilha da Madeira.	92
7.4 Imagem da localidade de Ponta Delgada. (IH, 2009)	95
7.5 Imagem da localidade da Ponta do Pargo. (IH, 2009)	95
7.6 Imagem da localidade do Paúl do Mar. (IH, 2009)	95
7.7 Imagem da localidade do Ilhéu da Branca. (IH, 2009)	96
7.8 Imagem da localidade da Ponta do Espigão Amarelo. (IH, 2009).	96
7.9 Imagem da localidade do Porto da Cruz. (IH, 2009).	96
C.1 Cobertura e caracterização do tráfego marítimo, em redor da Ilha da Madeira.	135
C.2 Zonas de conflito de uso marítimo, em redor da Ilha da Madeira.	136
C.3 Parques naturais e outras áreas classificadas, dentro da Ilha da Madeira.	137
C.4 Classificação da distância em relação à linha de costa da Ilha da Madeira.	138
C.5 Classificação da distância aos principais portos da Ilha da Madeira.	139
C.6 Geologia marinha das regiões Oeste e Sudoeste da Ilha da Madeira.	140
C.7 Distribuição da rede eléctrica na Ilha da Madeira.	141
C.8 Classificação da distância da rede eléctrica, em relação à linha de costa da Ilha da Madeira	142
C.9 Profundidade do fundo marinho da Ilha da Madeira	143
C.10 Declive da Ilha da Madeira.	144
C.11 Declive do fundo marinho	145
C.12 Interpolação da altura média anual das ondas, em redor da Ilha da Madeira.	146
C.13 Interpolação do período de pico médio anual das ondas, em redor da Ilha da Madeira. ...	147
C.14 Interpolação da variação anual da densidade da potência das Ondas.	148
C.15 Reclassificação do declive da Ilha da Madeira.	149
C.16 Reclassificação declive do fundo marinho da Ilha da Madeira	150
C.17 Reclassificação da distância em relação à linha de costa da Ilha da Madeira.	151
C.18 Reclassificação da distância aos principais portos da Ilha da Madeira.	152
C.19 Reclassificação da geologia marinha das regiões Oeste e Sudoeste da Ilha da Madeira. ...	153
C.20 Reclassificação da distância da rede eléctrica.	154
C.21 Reclassificação da altura média anual das ondas, em redor da Ilha da Madeira.	155
C.22 Reclassificação do período de pico médio anual das ondas.	156
C.23 Reclassificação da variação anual da densidade da potência das ondas.	157
C.24 Resultados finais dos factores de ponderação, em redor da Ilha da Madeira.	158
C.25 Proposta final para possíveis áreas de concessão, ao largo da Ilha da Madeira.	159
C.26 Declive do terreno e áreas de concessão.	160
C.27 Localização das possíveis áreas de concessão, relativamente às zonas com conflitos.	161

ÍNDICE DE TABELAS

2.1 Produção de energia eléctrica mundial, por fonte primária. (EIA, 2008).	6
2.2 Emissões de CO ₂ derivadas da produção de energia, por região. (EIA, 2008)	7
2.3 Fontes de energia renováveis até 2040 – cenário optimista. (EREC, 2008)	11
2.4 Fontes de energia renováveis até 2040 – cenário de referência. (EREC, 2008)	11
2.5 Taxa de crescimento decenal das energias renováveis, até 2040 – cenário de referência. (EREC, 2008)	12
2.6 Emissões projectadas para 2010 em comparação com o ano de referência. (UE, 2008)	13
3.1 Divisão dos 26 pontos de agitação marítima por áreas costeiras geográficas	45
4.1 Principais tecnologias existentes. Fonte (Barros, 2008)	58
4.2 Impactes ambientais associados à construção e instalação dos dispositivos. (Sarmiento e Cruz, 2004)	66
4.3 Impactes ambientais associados à operação e manutenção de dispositivos. (Sarmiento e Cruz, 2004)	67
4.4 Impactes ambientais associados ao desmantelamento (Sarmiento e Cruz, 2004)	67
5.1 Camadas (<i>layers</i>) utilizadas na avaliação da informação	77
5.2 Reclassificações das camadas correspondentes aos diversos temas	79
5.3 Camadas referentes aos conflitos de uso do mar (restrições)	80
5.4 Pesos específicos atribuídos aos vários temas	81
7.1 Matriz de potência. (www.pelamiswave.com)	90
7.2 Valores aplicáveis aos factores do custo unitário de potência instalada, para a energia das ondas (Sarmiento e Cruz, 2004)	94
A.1 Coordenadas geográficas dos pontos de medição da agitação marítima. (AREAM, 2008) .	107
B.1 Média e desvio padrão da variação anual da altura significativa. (AREAM, 2008)	111
B.2 Mínimo, moda e máximo da variação anual da altura significativa. (AREAM, 2008)	112
B.3 Densidade de probabilidade da altura significativa. (AREAM, 2008)	114
B.4 Excedência da altura significativa. (AREAM, 2008)	115
B.5 Média e desvio padrão da variação anual do período de energia. (AREAM, 2008)	116
B.6 Mínimo, moda e máximo da variação anual do período de energia . (AREAM, 2008)	117
B.7 Densidade de probabilidade do período de energia. (AREAM, 2008)	119
B.8 Média e desvio padrão da variação anual do período de pico . (AREAM, 2008)	120
B.9 Mínimo, moda e máximo da variação anual do período de pico. (AREAM, 2008)	121
B.10 Densidade de probabilidade do período de pico unidireccional. (AREAM, 2008)	123

B.11 Média e desvio padrão da variação anual da densidade de potência. (AREAM, 2008) . . .	124
B.12 Mínimo, moda e máximo da variação anual da densidade de potência. (AREAM, 2008) .	125
B.13 Densidade de probabilidade da densidade de potência. (AREAM, 2008)	127
B.14 Excedência da densidade de potência. (AREAM, 2008)	128
B.15 Média e desvio padrão da variação anual da direcção das ondas. (AREAM, 2008)	129
B.16 Densidade de probabilidade da direcção das ondas. (AREAM, 2008)	130
B.17 Média e desvio padrão da variação anual da direcção da potência. (AREAM, 2008)	131
B.18 Densidade de probabilidade da direcção da potência. (AREAM, 2008)	132

1. INTRODUÇÃO

O aproveitamento das energias alternativas, como fonte primária de obtenção de energia, tem sido uma das principais preocupações das potências industriais, estabelecidas ou em vias de desenvolvimento, de modo a garantir a sua sustentabilidade económica e ambiental. Diversos factores têm contribuído para o aumento do recurso a essas energias. Entre estes, encontram-se: a crescente escassez de combustíveis fósseis, a instabilidade dos mercados energéticos (devido à especulação), a degradação ambiental e climática, e a mais recente crise económica. Nenhum país se pode considerar imune a qualquer um destes factores.

Sendo Portugal um país sem reservas próprias de combustíveis fósseis, tem necessidade de importar grande parte da energia que consome. Deste modo, tem desenvolvido, desde há décadas, uma dependência externa prejudicial aos interesses económicos do país. Neste âmbito, note-se que, em 2007, Portugal importou 83% da energia primária consumida [73]. Assim, o seu crescimento económico está sujeito às oscilações do mercado energético, e aos restantes factores contraproducentes, anteriormente apresentados. O recurso a energias renováveis tem sido uma das principais soluções apresentadas para esse problema.

É certo que desde há duas décadas se tem vindo a promover a implementação dessas energias, bem como a desejada redução do consumo de combustíveis fósseis. O Protocolo de Quioto foi um passo importante, nesse âmbito. Portugal assinou e ratificou esse Protocolo, estabelecendo assim o compromisso de não exceder, até 2010, em mais de 27% as emissões de CO₂ para a atmosfera, tendo como referência os valores das emissões de 1991. O incumprimento deste acordo, não só obrigaria o país ao pagamento de pesadas coimas, como deixaria Portugal numa situação embaraçosa, a nível internacional.

Por outro lado, existem directivas comunitárias que condicionam o recurso aos combustíveis fósseis. Uma das mais restritivas estabelece um limite mínimo de 39% para energias renováveis, como fonte primária de obtenção de energia eléctrica, no nosso país. Assim se justifica o esforço considerável que os órgãos legislativos nacionais têm desenvolvido nesse sentido, ultimamente. Portugal Continental tem sido o principal beneficiado desta recente política energética, apresentando uma produção eléctrica, com base em energias renováveis, de 30%. A Região Autónoma dos Açores apresenta uma quota de 16,7%, ao passo que a Região Autónoma da Madeira apresenta uma quota de 13,7%, consideravelmente abaixo da média nacional [41].

Pelos motivos anteriormente apresentados, torna-se evidente a necessidade de redefinir a política energética da R. A. Madeira, nomeadamente no que concerne à utilização das energias renováveis como fonte primária de produção de energia eléctrica. Dado o actual nível de planeamento e desenvolvimento das diversas fontes de energia alternativa (solar, eólica e biomassa), no território da R. A. Madeira, procurarei demonstrar a viabilidade económica e ecológica da energia das ondas como fonte primária de produção de energia eléctrica, usando um género particular de tecnologia.

Nesse âmbito, a presente dissertação encontra-se estruturada em sete capítulos, excluindo este primeiro capítulo introdutório. Desse modo, o segundo capítulo explora o contexto energético actual, no âmbito do Protocolo de Quioto, tanto a nível mundial, como a nível nacional, concluindo com o caso da R. A. Madeira. Apresentam-se também alguns cenários futuros, projectados com base no cenário actual, a partir dos quais se percebe a necessidade de efectuar mudanças nas políticas energéticas dos vários países, incluindo Portugal, no sentido duma maior preponderância das energias alternativas como fontes energéticas primárias. Nesse âmbito, apresenta-se também alguma da legislação actualmente em vigor, a nível nacional, para a implementação dum desenvolvimento energético sustentável, no contexto do Protocolo de Quioto.

O terceiro capítulo encontra-se dividido em três partes principais. A primeira parte introduz os princípios básicos da teoria ondulatória, incluindo os parâmetros das ondas, e procura esclarecer quais as relações físicas entre esses. São também explicados os mecanismos responsáveis pela geração e propagação das ondas marinhas, bem como os fenómenos e efeitos associados ao percurso dessas ondas. A segunda parte aborda a análise das condições geomorfológicas existentes na Ilha da Madeira, bem como as condições oceanográficas dessa área do Oceano Atlântico, com o objectivo de explicar quais os fenómenos responsáveis pelas características da agitação marítima na região do Arquipélago da Madeira. A terceira parte, aborda a análise qualitativa dos parâmetros ondulatórios calculados para 26 pontos em torno da Madeira, a partir dos valores provenientes do ONDATLAS. Faz-se também a comparação entre esses dados e valores reais, de duas bóias-ondógrafo existentes na Madeira.

O quarto capítulo encontra-se dividido em cinco partes. A primeira aborda detalhadamente as fases de desenvolvimento tecnológico, exploração comercial, manutenção e desmantelamento dos dispositivos de aproveitamento da energia das ondas. A segunda parte apresenta, genericamente, as soluções tecnológicas existentes para esse fim. A terceira parte caracteriza essas tecnologias, de acordo com a sua distância à costa e profundidade de instalação. A quarta parte aborda as questões de impacte ambiental e económico, relacionadas com a aplicação dessas tecnologias, durante as suas diversas fases de vida (desde a concepção até ao desmantelamento). A quinta parte introduz, mais pormenorizadamente, a tecnologia “Pelamis”, seleccionada no contexto do presente trabalho, referindo as suas características técnicas, vantagens e desvantagens, a nível ambiental.

O quinto capítulo aborda toda a análise SIG efectuada a partir dos dados recolhidos (dados ONDATLAS, Cartas Náuticas, bóias-ondógrafo, etc.), sendo explicada toda a metodologia usada nessa análise. O sexto capítulo apresenta os resultados finais, obtidos em cada etapa. Essa abordagem culmina com a determinação das regiões mais propícias à instalação dos dispositivos “Pelamis”, num parque de ondas, com as respectivas justificações baseadas na análise SIG. No sétimo capítulo, apresenta-se um breve estudo de viabilidade económica, considerando uma estratégia de implementação progressiva nas áreas consignadas anteriormente. Por último, no oitavo capítulo, apresentam-se as principais conclusões e considerações sobre as diversas questões analisadas no trabalho.

2. CARACTERIZAÇÃO DA PRODUÇÃO DE ENERGIA

Apesar do consumo de combustíveis fósseis ser considerado, ainda hoje, uma inevitabilidade inerente ao progresso humano, tem havido uma tomada de consciência crescente da necessidade de tornar esse progresso ecologicamente sustentável. Mais não seja, porque os recursos naturais estão longe de ser inesgotáveis, e o impacto do crescimento populacional humano, no planeta Terra, começa a tomar proporções alarmantes. O consumo de energia é um dos principais motivos de preocupação, actualmente, devido à crescente escassez de recursos não renováveis, e à incessante demanda por novas fontes de energia. Actualmente, os combustíveis fósseis, nomeadamente, petróleo, carvão e gás natural, são as principais fontes primárias de energia, representando uma quota elevada da produção de energia eléctrica mundial. A restante quota é preenchida pela produção em centrais hidroeléctricas, nucleares, geotérmicas e de biomassa, bem como em parques eólicos, solares e de ondas. Então, como se poderá caracterizar, tecnicamente, a produção de energia?

A Agência Internacional de Energia (IEA) define *energia primária total fornecida* (EPTF), como a soma da energia importada e da produzida domesticamente, subtraindo a energia exportada, o consumo de combustíveis fósseis para fins não energéticos e para transportes internacionais. A este sub-total, subtrai-se ou adiciona-se o stock existente. A IEA define também a *energia final consumida* (EFC), como a soma dos consumos combinados dos vários sectores (indústria, transportes, doméstico, agro-pecuário, etc.), exceptuando o próprio sector energético. Com base nestas definições, segue-se a caracterização do consumo energético a nível mundial e, posteriormente, o de Portugal Continental e da R. A. Madeira, no âmbito nacional.

2.1 Utilização de Energia a Nível Mundial

A utilização dos recursos primários varia, consoante as necessidades das sociedades. A procura crescente de energia primária, principalmente nos países em desenvolvimento, é consequência do crescimento económico e populacional exponencial, particularmente no Extremo Oriente. Neste âmbito, observem-se as figuras 2.1 e 2.2, onde se caracteriza o consumo energético mundial, entre os anos de 1973 e 2006. É notório o aumento da energia consumida nos países asiáticos, nomeadamente a China, de um total de 12.7% (China+Ásia), em 1973, para um total de 27.5% (China+Ásia), em 2006. No mesmo período, os países da OCDE reduziram o seu consumo, de 61.2% em 1973, para 47.1% em 2006 [44].

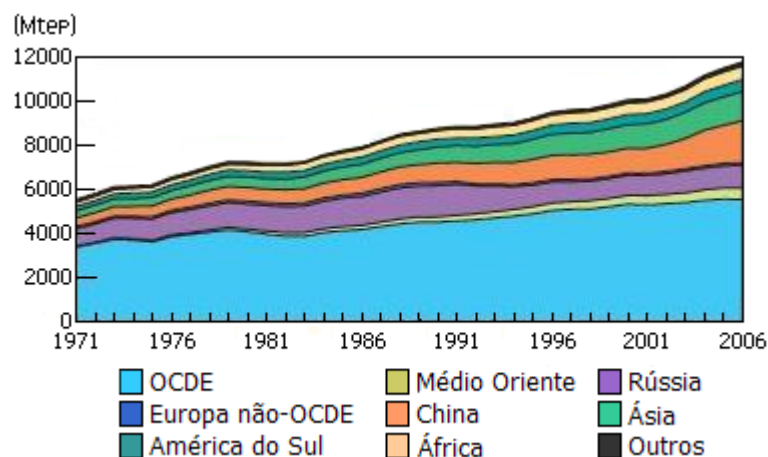


Fig. 2.1: Evolução do consumo energético mundial, por região, entre 1971 e 2006.

Fonte: Internacional Energy Agency, 2008 [44]

Nota-se que, na última década, os países ocidentais têm feito um esforço para aumentar a sua eficiência energética e, consequentemente, minimizar o crescimento do consumo energético. Por outro lado, a emergência de outros países com ambições ao estatuto de novas potências económicas, nomeadamente no sudeste asiático e no continente sul-americano, tem provocado uma crescente pressão sobre os mercados energéticos e sobre as expectativas ambientais pós Quioto. Alguns desses países não partilham o interesse pela sustentabilidade ecológica, encarando-a como uma ameaça ao seu crescimento económico. Como resposta, certos países ocidentais recusaram eles próprios a ceder às expectativas ambientais, temendo perder o seu estatuto económico, no panorama mundial.

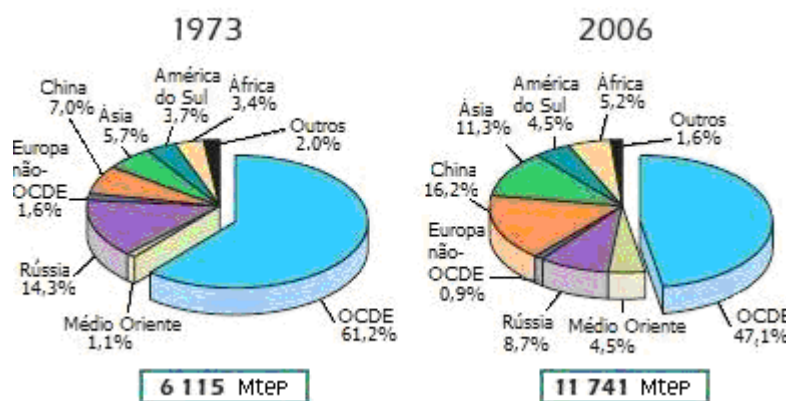


Fig. 2.2: Distribuição do consumo energético mundial, por região, em 1973 e 2006.

Fonte: Internacional Energy Agency, 2008 [44].

Dado este paradigma, torna-se urgente a fixação de protocolos posteriores a Quioto. No final deste ano deverão ser discutidos novas quotas de emissões na conferência de Copenhaga (Dinamarca). Estes devem visar, em grande medida, o estabelecimento de obrigações ambientais por parte de todos os países, mas garantindo, no entanto, uma certa flexibilidade no cumprimento dessas obrigações, correspondendo às expectativas económicas dos países que ratifiquem os protocolos. É admissível encarar essa flexibilidade como um recuo nas expectativas ambientais, face às pressões exercidas por

diversos grupos económicos. No entanto, perante o cenário de recusa total da ratificação dos tratados, por parte dos maiores poluidores, essa flexibilidade torna-se um mal necessário. Por outro lado, é de prever que as crescentes alterações climáticas contribuam para a inevitável consciencialização dos mais cépticos, favorecendo a sustentabilidade económica e ecológica, em detrimento do crescimento económico desenfreado e irresponsável.

Uma das cedências verificadas foi a concretização do mercado de direitos de emissão de gases com efeito de estufa. Segundo as normas desse mercado, os países mais desenvolvidos podem adquirir licenças de emissão anual adicionais, comprando-as aos países menos desenvolvidos, e que as tenham em “excesso” (proporcionalmente às suas capacidades de produção desses gases). Em troca, os países mais industrializados, fornecerão, além das contrapartidas monetárias, tecnologias de energias renováveis, garantindo a continuação das baixas emissões de gases de efeito de estufa nos países menos desenvolvidos. A este nível, notem-se as informações mais recentes, que referem a colaboração entre Portugal e os PALOP, visando a criação de mecanismos ambientais, no âmbito do protocolo de Quioto nesses países. Em troca, Portugal recebe créditos de emissão de CO₂ adicionais, anualmente.

A União Europeia (UE) é uma das signatárias do Protocolo de Quioto e tem liderado, desde o início, o compromisso para a adopção internacional desse protocolo. A ratificação do tratado por parte da UE obriga os Estados-membros a reduzir em 8% as suas emissões, entre 2008 e 2012, tendo como referência o ano de 1991. Esse compromisso foi repartido, entre os países constituintes, através de um sistema proporcional, de forma que uns tiveram de reduzir as suas emissões, enquanto outros (como Portugal), as puderam aumentar, dentro de um certo limite. Para agilizar as reduções e regulamentar as quotas de emissão, institui-se um mercado europeu de direitos de emissão, no qual as indústrias europeias podem transaccionar as suas licenças de emissão. O crescimento deste mercado, iniciado em 2005, tem sido notável, prevendo-se que seja um dos maiores mercados de matérias-primas, a nível mundial, até final da década corrente.

Mas, para que o esforço da UE seja eficaz, é necessário que os restantes signatários do protocolo de Quioto cumpram as suas obrigações ambientais, implementando medidas que melhorem a eficiência energética, e aperfeiçoem os processos de produção e transporte da energia. Neste âmbito, observe-se a tabela 2.1, que ilustra a produção de energia eléctrica por fonte de energia primária (em biliões de kWh), para cada região global (OCDE e não OCDE), e a média global das várias regiões. A tabela contém dados de 2005 e projecções a 25 anos, com base num cenário de referência.

É fácil verificar que o consumo de energia primária tenderá a estabilizar nos países da OCDE, devido, em grande parte, à estagnação do crescimento populacional nesses países desenvolvidos, e à implementação de políticas energéticas mais eficientes. No entanto, para os países não pertencentes à OCDE, prevê-se um crescimento acelerado do consumo energético, como consequência do intenso crescimento populacional, que se verifica na maioria desses países em desenvolvimento, e do seu crescimento económico baseado em tecnologias poluentes. A este propósito, vejam-se os níveis de emissões (em biliões de kg) especificados na tabela 2.2, para cada região (OCDE e não OCDE), e a

média das várias regiões. A tabela 2.2 contém dados actuais de 1990 e 2005, e projecções a 25 anos, com base no mesmo cenário de referência da tabela anterior.

Tabela 2.1: Produção de energia eléctrica (10^{12} kWh), por fonte primárias, a nível mundial, com projecção até 2030. Fonte: Energy Information Administration, 2008 [43].

<i>Região / Fonte Primária</i>	2005	2010	2015	2020	2025	2030	<i>Variação Percentual Anual Média 2005 – 2030</i>
OCDE							
Petróleo e derivados	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	-2,4%
Gás natural	1,9	2,4	2,9	3,2	3,4	3,7	2,6%
Carvão	3,8	4,0	4,1	4,3	4,5	4,8	1,0%
Nuclear	2,2	2,3	2,3	2,4	2,5	2,6	0,6%
Renováveis	1,5	1,8	1,9	2,0	2,2	2,3	2,3%
Total OCDE	9,9	10,8	11,5	12,2	12,8	13,5	1,3%
Não OCDE							
Petróleo e derivados	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	-0,1%
Gás natural	1,5	2,2	3,0	3,8	4,3	4,7	4,7%
Carvão	3,4	5,0	6,6	7,8	9,2	10,6	4,7%
Nuclear	0,4	0,5	0,7	0,9	1,1	1,2	4,5%
Renováveis	1,6	1,9	2,0	2,2	2,5	2,7	2,1%
Total Não OCDE	7,5	10,2	12,9	15,3	17,6	19,7	4,0%
Mundo							
Petróleo e derivados	1,0	0,9	0,8	0,8	0,8	0,8	-0,9%
Gás natural	3,4	4,7	5,9	7,0	7,7	8,4	3,7%
Carvão	7,2	9,0	10,7	12,1	13,7	15,4	3,1%
Nuclear	2,6	2,7	3,0	3,3	3,6	3,8	1,4%
Renováveis	3,2	3,7	3,9	4,2	4,6	5,0	1,8%
Total Mundial	17,3	21,0	24,4	27,5	30,4	33,3	2,6%

De acordo com os valores apresentados na tabela 2.2, verifica-se que as regiões actualmente pertencentes à OCDE tenderão a estabilizar, relativamente, os seus níveis de emissões de CO₂, ao longo das próximas décadas. No entanto, os níveis de emissões esperados para as regiões não pertencentes à OCDE mostram uma forte tendência de crescimento, nomeadamente na Ásia (China e Índia, em particular). Deste modo, e segundo o cenário de referência, o consumo energético mundial poderá aumentar cerca de 52 % (correspondendo a um crescimento anual de 2,6%), entre 2005 e 2030. Consequentemente, as emissões globais de CO₂ poderão aumentar, no mesmo período, cerca de 66% (correspondendo a um crescimento anual de 1,7%), o que equivale a um acréscimo de 14,2 Gt ⁽¹⁾ nas emissões de CO₂ para a atmosfera. Esses níveis de emissões, que perfazem um total de 42,3 Gt de CO₂, até 2030, terão como consequência o aumento da concentração de CO₂ atmosférico.

¹ 1 Gt (giga-tonelada) = 10^{12} kg.

Tabela 2.2: Emissões de CO₂ (10¹² kg) relacionadas com a produção de energia, por região, com projecção até 2030. Fonte: Energy Information Administration, 2008 [43].

Região	1990	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Variação Percentual Anual Média	
								1990 – 2005	2005 – 2030
OCDE									
América Norte	5,8	7,0	7,1	7,4	7,7	7,9	8,3	1,3%	0,7%
Europa	4,1	4,4	4,5	4,7	4,8	4,8	4,8	0,4%	0,4%
Ásia	1,5	2,2	2,2	2,3	2,3	2,4	2,4	2,3%	0,4%
Total OCDE	11,4	13,6	13,8	14,4	14,7	15,1	15,5	1,2%	0,5%
Não OCDE									
Eurásia	4,2	2,9	3,1	3,3	3,5	3,6	3,8	-2,5%	1,1%
Ásia	3,6	8,2	10,2	12,2	13,9	15,7	17,5	5,6%	3,1%
Médio Oriente	0,7	1,4	1,6	1,8	2,0	2,1	2,3	4,7%	1,9%
África	0,6	1,0	1,1	1,2	1,4	1,4	1,5	2,7%	1,8%
América do Sul	0,7	1,1	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	3,2%	1,9%
Total Não OCDE	9,8	14,5	17,3	20,0	22,3	24,5	26,8	2,6%	2,5%
Total Mundial	21,2	28,1	31,1	34,3	37,0	39,6	42,3	1,9%	1,7%

Historicamente, os números divulgados pelo relatório “*Carbon Budget and Trends*”, da organização Global Carbon Project (GCP) mostram que na década de 1970 o aumento anual médio da concentração de CO₂ foi de 1,3 ppm (partes por milhão, em volume, de partículas de ar seco), na década de 1980 foi de 1,6 ppm, e na década de 1990 foi de 1,5 ppm. Comparativamente com estes valores, o mesmo relatório refere que, entre 2000 e 2007, esse aumento foi de 2,0 ppm, tendo atingido um máximo de 2,2 ppm no ano de 2007. Este valor superou as previsões mais elevadas, que o relatório especial do grupo inter-governamental de peritos sobre as alterações climáticas (IPPC-SRES) tinha calculado em relação aos cenários de emissão, para a década 2000-2010. Em grande parte este aumento deveu-se à diminuição da absorção dos sumidouros naturais, nomeadamente as florestas e os oceanos, cuja capacidade de sequestro de carbono sofreu uma redução de 5% nos últimos 50 anos, principalmente devido à degradação dos ecossistemas marinhos e à devastação das florestas tropicais da América Latina, da Ásia e da África.

Assim, o relatório conclui que a absorção de CO₂ nos sumidouros naturais se realizou a um ritmo mais lento do que a emissão antropogénica de CO₂. Desta forma, caso não sejam tomadas medidas concretas, a concentração de CO₂ atmosférico tenderá a aumentar significativamente nas próximas décadas. Não obstante, têm sido elaborados estudos científicos que visam simular cenários baseados em diferentes níveis de concentração de CO₂ atmosférico. Os valores mais consensuais estão compreendidos entre os 450 ppm e os 750 ppm, com um valor intermédio de 550 ppm (ver gráfico da figura 2.3). Neste âmbito, o valor de 450 ppm (cenário 450) é considerado o mais favorável para a estabilização das emissões, dado que pressupõe um aquecimento moderado (2°C), com alguma linha de costa submersa pelo mar, um aumento da desertificação, uma intensificação da violência das tempestades e dos incêndios florestais.

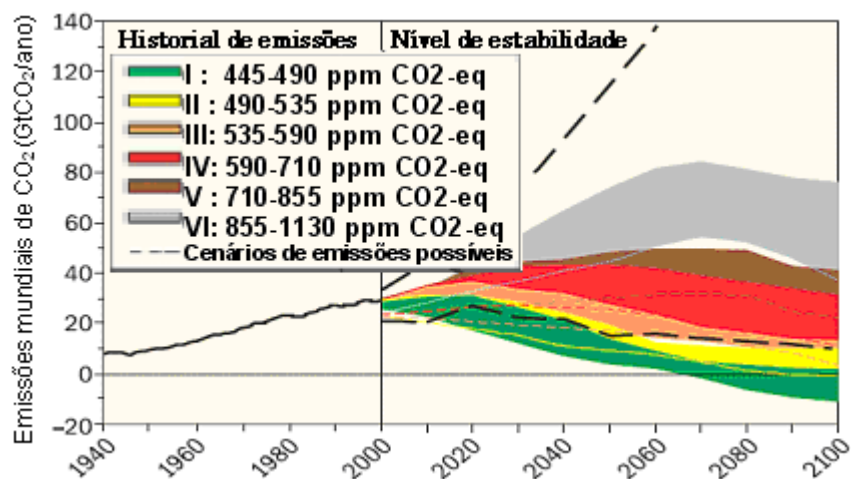


Fig. 2.3: Cenários que demonstram a possível evolução da emissão de CO₂ no Mundo até 2100 segundo o Painel Intergovernamental para as alterações climáticas. Fonte: IPCC, 2007 [40].

O valor de 550 ppm (cenário 550) implica um aumento de temperatura de 3°C, com a consequente intensificação dos problemas mencionados anteriormente. Ultrapassando o valor de 550 ppm, muitos especialistas acreditam que o aquecimento global chegará a um ponto sem retorno, com consequências graves para a biosfera. Apesar dos esforços internacionais, a concentração de CO₂ atmosférico aumentou consideravelmente, atingindo o valor de 383 ppm em 2007 (ver gráfico da figura 2.4). Com base neste valor, poderá atingir-se uma concentração de CO₂ de cerca de 750 ppm, até 2050, constituindo o cenário mais desfavorável e alarmante (cenário 750). Este cenário prevê um aumento de temperatura cerca de 6°C, que conduziria a fenómenos meteorológicos mais extremos: tempestades mais intensas e frequentes, chuvas mais ácidas, secas mais prolongadas e subida anual do nível do mar de 1,5 a 2 mm. Tal subida faria aumentar cerca de 0,88 m o nível médio do mar, em relação ao nível actual, até ao final do século, o que por sua vez reduziria a costa de alguns países, incluindo Portugal.

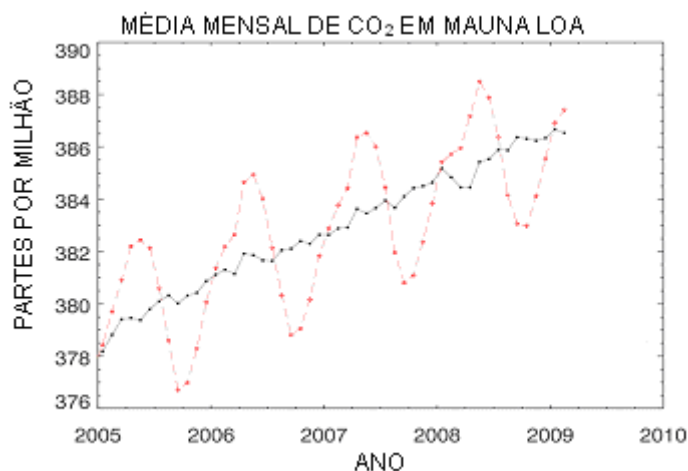


Fig. 2.4: Concentração mensal de CO₂ atmosférico, entre 2005 e o primeiro trimestre de 2009 – valores do observatório meteorológico de Mauna Loa, Havai, E.U.A. Fonte: NOAA, 2009 [78].

Dados os cenários apresentados anteriormente, percebe-se a necessidade de implementar soluções baseadas em fontes de energia alternativas. Neste âmbito, a rapidez com que essas soluções forem implementadas ditará a convergência para um dos cenários referidos. Como foi dito anteriormente, o cenário 450 é o mais favorável a longo prazo, dos pontos de vista ecológico, económico e ambiental. No entanto, a convergência para esse cenário implica uma mudança rápida e efectiva das economias baseadas no carbono para tecnologias menos poluentes, de forma a reduzir drasticamente as emissões de CO₂ dos países que não pertencem à OCDE. Ainda assim, e dado os actuais níveis de emissões, alguns especialistas alertam para o facto da convergência para esse cenário estar já em risco, sendo o cenário 550 o mais adequado. Não obstante, quer o cenário 450, quer o cenário 550 exigem uma transformação do sector da energia. Neste sentido será vital adoptar medidas em três áreas específicas: **a)** uso eficaz da energia e aumento da eficiência energética, **b)** sequestro e armazenamento do carbono, **c)** utilização de energias renováveis.

2.1.1 As energias renováveis como fontes primárias

Como se pode verificar na tabela 2.1, o recurso a energias renováveis tenderá a aumentar. Mas esse aumento projectado é ainda pouco significativo, relativamente aos aumentos correspondentes às energias não renováveis. O gráfico da figura 2.5 ilustra essa tendência, comparando o panorama histórico do período 1980-2005, com o cenário de referência projectado para o período 2005-2030. O gráfico da figura 2.6 ilustra o aumento do consumo de energia eléctrica por região global (países da OCDE, países que não são da OCDE), comparando, novamente, o panorama histórico do período 1990-2005, com o cenário de referência projectado para o período 2005-2030.

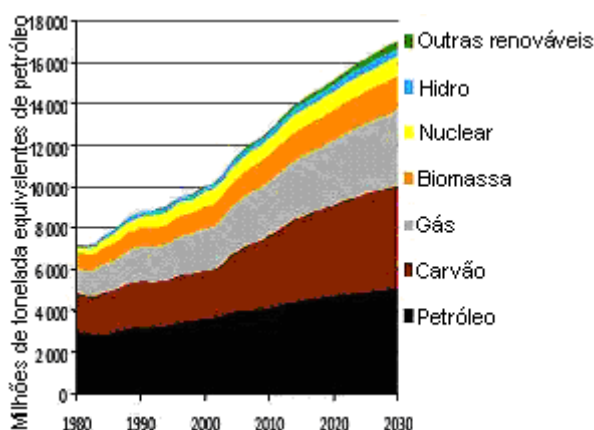


Fig. 2.5: Consumo de fontes primárias a nível mundial, com projecção para os períodos 1980-2030.

Fonte: EIA, 2008 [43].

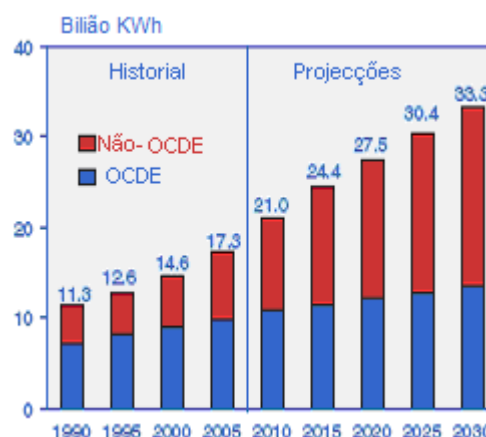


Fig. 2.6: Consumo mundial de energia eléctrica, com projecção para os períodos e 1990-2050.

Fonte: EIA, 2008 [43].

Mais uma vez, é notório o crescimento do consumo de energia eléctrica previsto para os países em desenvolvimento (não pertencentes à OCDE), comparativamente ao aumento previsto para os países desenvolvidos (OCDE).

2.1.2 Desenvolvimento das energias renováveis a nível mundial

Prevê-se que as energias renováveis possam dominar o sistema de abastecimento de energia a nível mundial, a longo prazo. A razão é ao mesmo tempo muito simples e imperativa: não há nenhuma alternativa. A humanidade não pode continuar indefinidamente a basear as suas actividades no consumo de energia a partir de combustíveis fósseis (recursos finitos e muito poluentes). Hoje em dia, as fontes de energia renováveis estão na linha da frente de uma estratégia global de desenvolvimento sustentável. Estas fontes ajudam a reduzir a dependência em importações de energia, e, além disso, podem e devem ter um impacto positivo no desenvolvimento regional e na criação de emprego. Neste âmbito, as fontes de energia renováveis estão cada vez mais a ser utilizadas em áreas onde não haja acesso ao abastecimento centralizado de energia, constituindo uma solução mais económica do que a construção de novas redes eléctricas, com as respectivas infra-estruturas.

Mas como transformar rapidamente o abastecimento de energia, a partir dos sistemas convencionais, para sistemas baseados em fontes de energia renováveis? O primeiro passo será a tomada de consciência das implicações socio-económico-ambientais da manutenção dos actuais sistemas de abastecimento energéticos. É preciso que os cidadãos saibam que as mudanças climáticas daí derivadas terão impactos significativos nas suas vidas. Por outro lado, os custos das alterações climáticas não afectarão somente o desenvolvimento económico no mundo, mas também tornarão mais frequentes as catástrofes naturais, cujos custos não foram ainda contabilizados. A resposta para estes problemas (aquecimento global) está, em grande parte, na internalização dos custos da poluição das centrais energéticas convencionais.

Com a adopção destas medidas por um número significativo de países, o desenvolvimento e a distribuição de fontes de energia renováveis seria muito mais rápido devido à maior competitividade e viabilidade económica dos projectos onde estas se inserem (menor custo/benefício). Por estas razões é muito importante que se definam novas metas na cimeira de Copenhaga, em Dezembro de 2009, para o período pós Quioto. O novo protocolo deverá, cada vez mais, dar importância à produção de energia através das fontes renováveis, de maneira a permitir que estas sejam desenvolvidas a tempo e com a dinâmica necessária para evitar as alterações climáticas.

Paralelamente, o Conselho Europeu para as Energias Renováveis apontou dois cenários para o desenvolvimento das fontes renováveis: **a)** o cenário optimista (ver tabela 2.3) considera uma elevada convergência internacional para as energias renováveis; **b)** o cenário de referência (ver tabela 2.4) abrange as políticas energéticas internacionais actuais. O cenário optimista baseia-se em medidas de apoio complementares (subsídios), que permitam atingir taxas de crescimento ambiciosas para as fontes de energias renováveis. Nesse âmbito, assume-se que os países promotores das energias renováveis aumentarão ainda mais os seus esforços, e os restantes países seguirão esses exemplos, optando por energias renováveis. É também indispensável que sejam aplicados preços mais elevados para o abastecimento de energia pelos meios convencionais.

Tabela 2.3: Contribuição das fontes de energia renováveis até 2040 – cenário optimista.

Fonte: European Renewable Energy Council, 2008 [46].

Consumo Energético (Mtep) / Anos	2001	2010	2020	2030	2040
Biomassa	1080,0	1313,0	1791,0	2483,0	3271,0
Hidroeléctrica (> 10 MW)	222,7	266,0	309,0	341,0	358,0
Hídrica (< 10 MW)	9,5	19,0	49,0	106,0	189,0
Eólica	4,7	44,0	266,0	542,0	688,0
Solar Fotovoltaica	0,2	2,0	24,0	221,0	784,0
Solar Térmica	4,1	15,0	66,0	244,0	480,0
Solar Térmica Eléctrica	0,1	0,4	3,0	16,0	68,0
Geotérmica	43,2	86,0	186,0	333,0	493,0
Marinha (marés/ondas)	0,05	0,1	0,4	3,0	20,0
Consumo Total Fontes Renováveis	1364,5	1745,5	2694,4	4289,0	6351,0
Consumo Total Energia Mundial	10038,3	10549,0	11425,0	12352,0	13310,0
Contribuição das energias renováveis	13,6%	16,6%	23,6%	34,7%	47,7%

Tabela 2.4: Contribuição das fontes de energia renováveis até 2040 – cenário de referência.

Fonte: European Renewable Energy Council, 2008 [46]

Consumo Energético (Mtep) / Anos	2001	2010	2020	2030	2040
Biomassa	1080,0	1291,0	1653,0	2221,0	2843,0
Hidroeléctrica (> 10 MW)	222,7	255,0	281,0	296,0	308,0
Hídrica (< 10 MW)	9,5	16,0	34,0	62,0	91,0
Eólica	4,7	35,0	167,0	395,0	584,0
Solar Fotovoltaica	0,2	1,0	15,0	110,0	445,0
Solar Térmica	4,1	11,0	41,0	127,0	274,0
Solar Térmica Eléctrica	0,1	0,4	2,0	9,0	29,0
Geotérmica	43,2	73,0	131,0	194,0	261,0
Marinha (marés/ondas)	0,05	0,1	0,4	2,0	9,0
Consumo Total Fontes Renováveis	1364,5	1682,5	2324,4	3416,0	4844,0
Consumo Total Energia Mundial	10038,3	11752,0	13553,0	15547,0	17690,0
Contribuição de fontes renováveis	13,6%	14,3%	17,1%	22,0%	27,4%

Outro ponto importante é o da cooperação internacional progressiva, incluindo transferências substanciais de recursos e conhecimentos dos países industrializados para os países em vias de desenvolvimento, promovendo assim o seu crescimento sustentável. Neste sentido, os pressupostos do cenário de referência baseiam-se numa menor cooperação internacional entre os países industrializados e os países em vias de desenvolvimento (menor cedência de tecnologias e conhecimentos). Nesse cenário, as regiões não promovem de forma igual a adopção de fontes de energia renováveis, uma situação que é visível actualmente entre os países desenvolvidos e os países em vias de desenvolvimento.

Na tabela 2.5 podemos ver as diferentes taxas do crescimento previstas para as diferentes tecnologias durante várias décadas até 2040. Algumas destas fontes de energia renovável crescerão mais rapidamente durante os próximos 10 anos do que outras como é o caso das pequenas hidroeléctricas, dos parques de energia eólicos, dos parques de energia fotovoltaica, dos painéis solares térmicos e dos colectores solares para aquecimento da água. A partir da década de 2020 verificar-se-á uma estabilização ou diminuição de quase todas as fontes de energia renovável com

excepção da energia do mar (marés/ondas/oceanos), que terá taxas de crescimento muito significativas até 2040.

Tabela 2.5: Taxa de crescimento decenal das energias renováveis, até 2040 – cenário de referência.

Fonte: European Renewable Energy Council, 2008 [46]

Fontes Renováveis / Períodos	1996 – 2001	2001 – 2010	2010 – 2020	2020 – 2030	2030 – 2040
Biomassa	2%	2,2%	3,1%	3,3%	2,8%
Hidroeléctrica (> 10 MW)	2%	2%	1%	1%	0%
Hídrica (< 10 MW)	6%	8%	10%	8%	6%
Eólica	33%	28%	20%	7%	2%
Solar Fotovoltaica	25%	28%	30%	25%	13%
Solar Térmica	10%	16%	16%	14%	7%
Solar Térmica Eléctrica	2%	16%	22%	18%	15%
Geotérmica	6%	8%	8%	6%	4%
Marinha (marés/ondas)	–	8%	15%	22%	21%

2.2 Utilização da Energia em Portugal Continental e na R. A. Madeira

Com a crescente escassez de recursos, o preço da produção energética tenderá a aumentar no futuro e, associada aos factores económico, ecológico e social, é previsível que o crescimento económico da maioria dos países seja gravemente afectado, caso não haja alterações na forma de produzir, transportar e comercializar a energia. A este nível, é conhecido que Portugal tem poucos recursos energéticos próprios, nomeadamente, os que asseguram a generalidade das necessidades energéticas dos países desenvolvidos (carvão, petróleo e gás natural). Segundo o “*Relatório do Estado do Ambiente 2007*”, Portugal teve uma dependência energética de 83% em 2007, em grande parte devido às importações de fontes primárias de origem fóssil. No entanto, no campo das energias renováveis, apresenta um grande potencial inexplorado, pelo que é importante aumentar a contribuição das mesmas, como fontes primárias.

2.2.1 Enquadramento da política energética nacional no contexto europeu ⁽²⁾

No âmbito europeu, e segundo o relatório intercalar anual da Comissão Europeia sobre emissões, datado de 2008, Portugal poderá vir a cumprir os compromissos assumidos no Protocolo de Quioto, relativos à redução e à limitação das emissões de gases com efeito de estufa. Também na globalidade dos países da U.E., as projecções mais recentes indicam que a UE-15 alcançará o alvo preconizado de 8% de redução das emissões, através da combinação das medidas já adoptadas, da compra de créditos de emissão a países terceiros e das actividades de silvicultura, para sequestro do carbono atmosférico. Outras medidas em discussão nos diversos estados-membros poderão proporcionar ainda uma redução de 3,3%, permitindo ultrapassar o limite estabelecido. Não obstante, é

² O texto constante nesta secção está conforme a legislação consultada, para a sua elaboração, e as informações disponibilizadas no sítio da Direcção Geral de Energia e Geologia.

de referir a inexistência dum objectivo conjunto para as emissões da UE-27. Neste contexto, dez dos doze estados-membros que aderiram a UE entre 2004 e 2007 têm compromissos individuais no âmbito do Protocolo para a redução das emissões de 6% a 8%, no período 2008-2012. Os resultados obtidos na tabela 2.6 dão conta do provável cumprimento por parte de Portugal das emissões de gases com efeito de estufa até ao ano de 2010. Estes resultados só foram conseguidos porque Portugal adoptou desde 2001 por estratégias, programas e protocolos tendo em conta esta problemática.

Tabela 2.6: Emissões projectadas para 2010 em comparação com o ano de referência. Fonte: UE, 2008 [74].

Estado-Membro	Emissões		Medidas Actuais	Mecanismos Quioto	Sumidouros de Carbono	Outras Medidas	Todas as medidas, mecanismos de Quioto e sumidouros de carbono	
	Referência Quioto	Objectivos Quioto	Projeções 2010	Efeitos 2010	Efeitos 2010	Efeitos 2010	Projeções 2010	Disparidade de projeções
	MtCO ₂	% do Ano Referência	% do Ano Referência	% do Ano Referência	% do Ano Referência	% do Ano Referência	% do Ano Referência	% do Ano Referência
Áustria	79,0	-13,0	17,4	-11,4	-0,9	-18,4	-13,3	-0,3
Bélgica	145,7	-7,5	-3,7	-4,8	—	0,0	-8,5	-1,0
Bulgária	132,6	-8,0	-29,8	—	—	-5,2	-34,9	-26,9
Chipre	6,0	—	44,3	—	—	-2,9	41,4	—
Rep. Checa	194,2	-8,0	-25,1	—	-0,6	-3,1	-28,8	-20,8
Dinamarca	69,3	-21,0	-2,2	-6,1	-3,3	0,0	-11,6	9,4
Estónia	42,6	-8,0	-62,8	—	—	-3,0	-65,7	-57,7
Finlândia	71,0	0,0	19,7	-2,0	-0,8	-17,4	-0,6	-0,6
França	563,9	0,0	0,8	—	-0,7	-4,3	-4,2	-4,2
Alemanha	1232,4	-21,0	-22,5	—	-0,4	-3,3	-26,2	-5,2
Grécia	107,0	25,0	23,9	—	-1,1	-2,0	20,8	-4,2
Hungria	115,4	-6,0	-24,9	—	—	-0,5	-25,4	-19,4
Irlanda	55,6	13,0	22,8	-6,5	-3,7	-0,2	12,4	-0,6
Itália	516,9	-6,5	7,5	-4,0	-4,9	-3,2	-4,6	1,9
Letónia	25,9	-8,0	-46,1	—	—	0,0	-46,1	-38,1
Lituânia	49,4	-8,0	-30,4	—	—	0,0	-30,4	-22,4
Luxemburgo	13,167	-28,0	3,1	-29,9	—	-1,1	-28,0	0,0
Malta	2,2	—	61,8	—	—	0,0	61,8	—
Holanda	213,0	-6,0	-2,2	-6,1	-0,1	0,0	-8,4	-2,4
Polónia	563,4	-6,0	-28,4	—	-0,5	0,0	-29,0	-23,0
Portugal	60,1	27,0	44,2	-9,6	-7,7	-4,0	22,7	-4,3
Roménia	278,2	-8,0	-31,4	—	—	-3,9	-35,3	-27,3
Eslováquia	72,1	-8,0	-18,4	—	—	-3,2	-21,6	-13,6
Eslovénia	20,4	-8,0	6,7	-2,9	-8,3	-8,7	-13,2	-5,2
Espanha	289,8	15,0	52,0	-19,9	-2,0	-9,6	20,5	5,5
Suécia	72,2	4,0	-2,7	—	-3,0	0,0	-5,7	-9,7
Reino Unido	776,3	-12,5	-19,4	—	-0,5	0,0	-20,0	-7,5
UE-15	4265,5	-8,0	-3,6	-3,0	-1,4	-3,3	-11,3	-3,3
UE-27	5768,0	—	-10,1	-2,2	-1,1	-3,0	-16,3	—

Em 2001, Portugal adoptou a “Estratégia Nacional para as Alterações Climáticas”, que contém os princípios e objectivos que orientam as medidas a implementar nesse âmbito, com vista ao cumprimento dos compromissos assumidos na ratificação do Protocolo de Quioto. Essa estratégia assentou em três instrumentos principais: **a)** o “Programa Nacional para as Alterações Climáticas” (PNAC), que integra medidas para os vários sectores, com vista à redução das emissões de gases de efeito de estufa, tendo em conta a eficiência ambiental e os custos económicos; **b)** a inclusão no

“Comércio Europeu de Licenças de Emissão” (CELE), através do qual o sector energético contribuirá para a redução das emissões de um modo eficaz; c) a implementação dos “Mecanismos de Mercado do Protocolo de Quioto”, que integram o “Mecanismo de Desenvolvimento Limpo” e o “Comércio Internacional de Emissões” [71].

Relativamente ao PNAC, em 2004 adoptou-se o PNAC 2004, através da Resolução do Conselho de Ministros (RCM) n.º 119/2004, de 31 de Julho [53], que integrava medidas para todos os sectores de actividade, em especial para o sector energético, que deveria contribuir com 18% a 24% para o esforço de redução nacional. Tal conjunto de medidas deveria permitir uma redução das emissões de 5,9 Mt CO₂ ⁽³⁾. De forma a assegurar a supervisão das medidas instituídas no PNAC 2004, foram aprovados, em 2005, o “Programa de Monitorização e Avaliação do PNAC” (RCM n.º 59/2005, de 8 de Março [55]) e o “Sistema Nacional de Inventário de Emissões por Fontes e Remoções de Poluentes Atmosféricos” (SNIERPA), na RCM n.º 68/2005 [56], de 17 de Março). No âmbito da Decisão n.º 280/2004/CE, de 11 de Fevereiro [50], foi apresentado o “Relatório de Progresso” à Comissão Europeia, do cumprimento das obrigações nacionais, e o “Relatório para Determinação da Quantidade Atribuída” (QA), estipulando o total de emissões de Portugal no período 2008-2012, de cerca de 77,39 Mt CO₂/ano.

Em 2006, a Comissão para as Alterações Climáticas accionou a revisão do PNAC 2004, de acordo com o “Programa de Monitorização”, de modo a avaliar o grau de implementação das medidas propostas, e a necessidade de adopção de novas medidas. Os fracos resultados obtidos levaram à aprovação do PNAC 2006, aprovado pela RCM n.º 104/2006, de 23 de Agosto [59], visando o envolvimento de todos os sectores da Administração Pública. A eficiência das medidas tomadas anteriormente foi analisada, e um conjunto de medidas sectoriais adicionais foi proposto, com o objectivo de reduzir cerca de 3,7 Mt CO₂. Foi ainda estabelecido um sistema de planos de actuação para cada medida, com a respectiva monitorização, sob a responsabilidade de cada Ministério proponente das medidas, dando maior rigor ao PNAC.

No âmbito do “Comércio Europeu de Licenças de Emissão”, iniciado em 1 de Janeiro de 2005, foi aprovado o “Plano Nacional de Atribuição de Licenças de Emissão de Gases com Efeito de Estufa” – PNALE 2005-2007 (RCM n.º 53/2005, de 3 de Março [54]). Nesse plano, Portugal comprometeu-se a reduzir as emissões, repartindo esse esforço entre os mecanismos de flexibilidade, previstos no Protocolo de Quioto, e a adopção de novas medidas. As licenças de emissão por instalação, para o período 2005-2007, foram atribuídas pelo Despacho Conjunto n.º 686-E/2005, de 13 de Setembro [51]. Para o período de 2008-2012, foi apresentado, à Comissão Europeia, o PNALE 2008-2012. Na sua elaboração foram tidos em conta o PNAC 2006, o défice de cumprimento de 3,7 Mt CO₂ e a participação nos Mecanismos de Quioto.

No âmbito dos Mecanismos de Quioto, atribuiu-se à Comissão para as Alterações Climáticas a qualidade de Autoridade Nacional Designada, pela RCM n.º 33/2006, de 24 de Março [58], para a aplicação dos “Mecanismos de Mercado do Protocolo de Quioto”. Foi ainda criado um “Fundo Português de Carbono” (FPC), pelo Decreto-Lei n.º 71/2006, de 24 de Março [52], destinado a

financiar medidas que facilitem o cumprimento dos compromissos assumidos por Portugal, e a obtenção de créditos de emissão ou de unidades de quantidade atribuída. Conjuntamente com a aprovação do PNAC 2006, pela RCM n.º 104/2006, de 23 de Agosto [59], foi estabelecido o valor mínimo da dotação que o Orçamento do Estado transferirá anualmente para o FPC, no período decorrente, para garantir o investimento em “Mecanismos de Quioto”. Em termos plurianuais, essa dotação orçará os 350 milhões de euros.

2.2.2 Consumo energético primário e final no território nacional

No período de 1996 a 2007, o consumo de energia primária em Portugal aumentou cerca de 25%, como é visível no gráfico da figura 2.7. Esse aumento deveu-se sobretudo ao aumento do consumo de gás natural e de produtos petrolíferos, e à ligeira subida do consumo de energias renováveis. As recentes medidas de desenvolvimento das energias alternativas contribuíram para um ligeiro desagrevamento da dependência energética externa do país, face ao valor de 1996 (87%), mas são ainda insuficientes para representar uma mudança significativa ⁽³⁾.

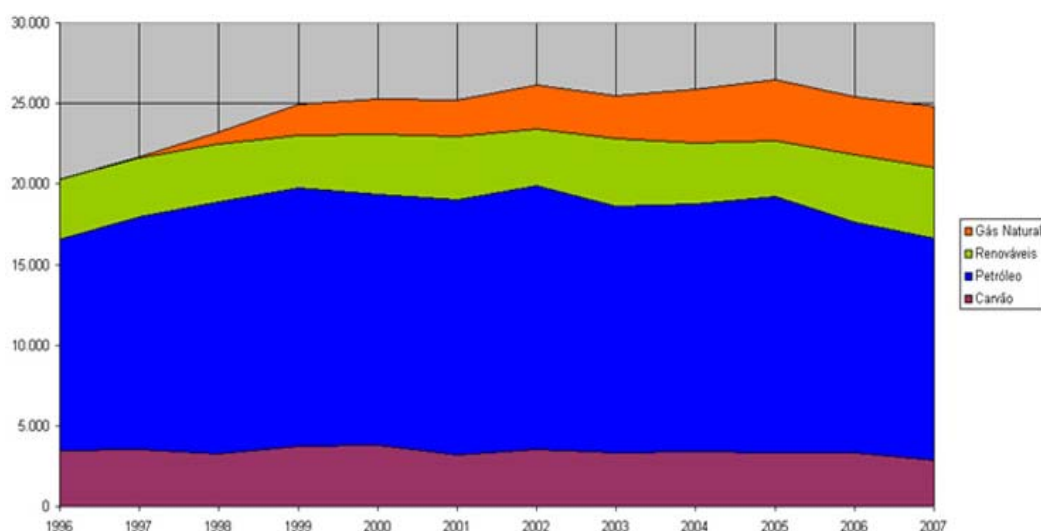


Fig. 2.7: Evolução do consumo nacional de energia primária, por fonte de energia.

Fonte: Direcção Geral de Energia e Geologia, 2008 [69].

A evolução da produção nacional de energia pode ser considerada pouco significativa, quando comparada com o consumo. Em 2007, a produção foi de 4,4 Mtep e o consumo foi de 25,5 Mtep, ocupando o petróleo o papel fundamental na estrutura de abastecimento, com 54% do consumo total de energia primária – ainda assim uma ligeira descida face aos 55% de 2006. A partir de 1997, com a introdução do gás natural, houve uma diversificação das fontes de energia e uma redução da dependência face ao petróleo. O gás natural contém cerca de menos 40% de carbono do que o carvão e menos cerca de 25% de carbono do que o petróleo, pelo que a sua utilização permite uma redução significativa da emissão de gases com efeito de estufa. Em 2007, o gás natural representou 15,0% do

³ Conforme as informações disponibilizadas no site da Direcção Geral de Energia e Geologia [69].

total do consumo. No mesmo ano, o consumo de carvão representou cerca de 11,3% do total do consumo. Relativamente a este último combustível, é previsível a redução progressiva do seu peso na produção de electricidade, devido ao seu impacto nas emissões de CO₂.

Em 2007 o contributo das energias renováveis no consumo total de energia primária foi de 17,1%, face aos 16,3% em 2006. Este aumento é consequência do investimento feito nos últimos anos em fontes de energias renováveis, para produção de electricidade. Neste âmbito, note-se que, em 2007, a potência instalada foi de 7645 MW (correspondentes a 16861 GWh de energia eléctrica). A distribuição desse valor pelas diversas formas de energia renovável é a seguinte: 4883 MW de energia hídrica, 507 MW de energia de biomassa, 2201 MW de energia eólica, 30 MW de energia geotérmica e 24 MW de energia fotovoltaica. A figura 2.8 mostra o gráfico dessa distribuição, em 2007.

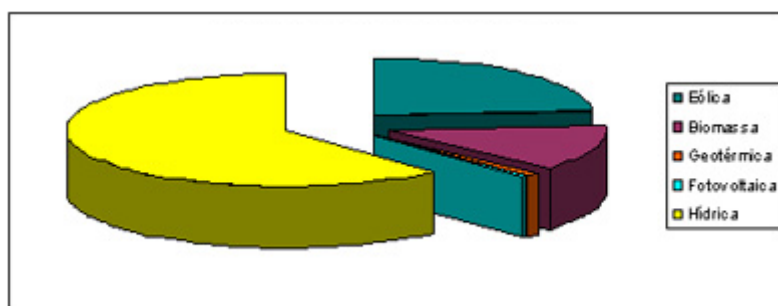


Fig. 2.8: Produção de energia eléctrica, a partir de fontes de energia renováveis.

Fonte: Direcção Geral de Energia e Geologia, 2008 [69].

Relativamente ao consumo de energia final, em 2007, este atingiu o valor de 18,7 Mtep, tendo-se verificado uma redução de 2,1% face a 2006. Registou-se uma diminuição do consumo de 7,1% de petróleo e um aumento de 5,9% de gás natural e de 3,3% em electricidade. O peso dos sectores de actividade económica no consumo de energia final foi de: 29,2% na Indústria, 36,4% nos Transportes, 17,1% no Doméstico, 12,2% nos Serviços e 5,1% nos restantes sectores (incluindo Agricultura, Pescas, Construção e Obras Públicas). Constatase assim que os sectores da indústria e dos transportes são os que têm maior peso, como se pode ver na figura 2.9.

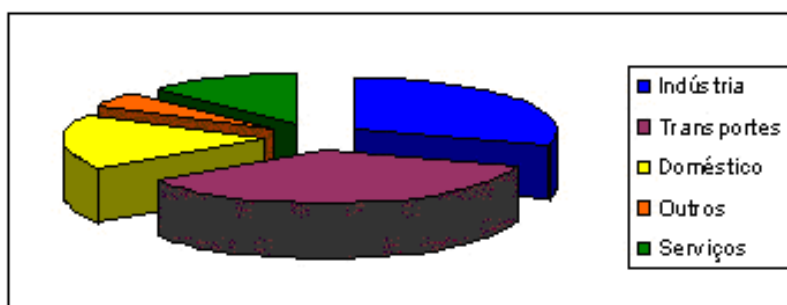


Fig. 2.9: Consumo de energia eléctrica, nos vários sectores económicos

Fonte: Direcção Geral de Energia e Geologia, 2008 [69].

Observando a figura 2.10 [45], verifica-se que o consumo nacional de energia final cresceu fortemente ao longo do período 1985-2000, com um aumento próximo dos 60%. Apesar de ser comum a todos os sectores, o aumento do consumo de energia final não foi homogéneo. No sector dos transportes registou-se uma subida de cerca de 100%, enquanto que na agricultura o consumo cresceu no período entre 1985 e 1995, apenas 6.6%. Dentro do sector industrial, são as indústrias de minerais não metálicos, cimentos, pasta de papel, vidro, siderurgia, têxteis, vestuário, calçado e indústrias químicas as que mais contribuíram para o consumo final de electricidade. A partir de 2000, verificou-se um crescimento mais moderado, com o objectivo de cumprir os compromissos assumidos no Protocolo de Quioto.

O sector dos serviços e o doméstico aumentaram o consumo energético, reflectindo o crescimento gradual do bem-estar social e desenvolvimento económico. Em particular, o consumo de energia nos serviços, em 2007, aumentou 0,8% face a 2006. No sector doméstico, assistiu-se a um aumento do consumo de energia eléctrica por unidade de alojamento: 2611 kWh/alojamento em 2007, face a 2544 kWh/alojamento em 2006. Em relação às formas de energia utilizadas, verifica-se a estabilização nos consumos dos produtos derivados do petróleo, a favor do gás natural. Ainda assim, o petróleo e a electricidade são as formas de energia final mais consumidas em Portugal no balanço de todas as actividades económicas [45].

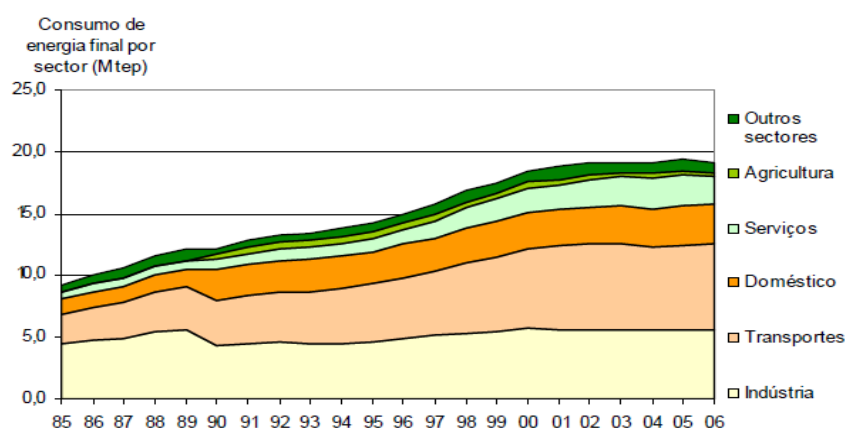


Fig. 2.10: Evolução do consumo nacional de energia final, por sector

Fonte: Agência Portuguesa do Ambiente, 2007 [45].

Uma das consequências do crescimento do bem-estar social e da qualidade de vida é o aumento do número de veículos de passageiros em circulação. Este é considerado um factor determinante no crescimento do consumo do sector dos transportes, com impacto directo nas emissões de CO₂. No entanto, e de acordo com os dados da figura 2.11, o consumo *per capita* de energia final em Portugal é dos mais baixos da Europa, o que reflecte, em parte, a situação socio-económica e de desenvolvimento do país, face aos restantes membros da UE. Neste âmbito Portugal apresentou, em 2007, um consumo de energia final *per capita* de 1,76 tep/hab. Relativamente à electricidade, Portugal é também um dos países da UE com menor consumo *per capita* – cerca de 4799 kWh, em 2006,

correspondendo ao 21º lugar dos países europeus. Só a Bulgária, a Hungria, a Polónia, a Lituânia, a Letónia e a Roménia registaram consumos *per capita* mais baixos.

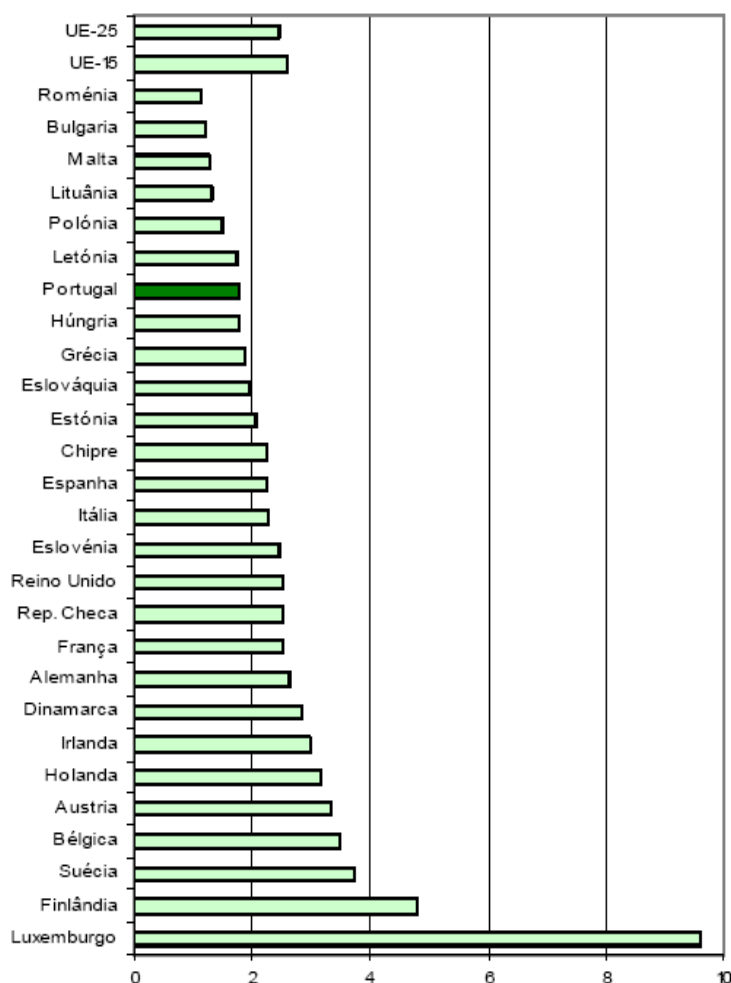


Fig. 2.11: Consumo de energia final *per capita* na UE, em 2005 (tep/hab).

Fonte: Agência Portuguesa do Ambiente, 2007 [45].

Em resumo, as fontes energéticas nacionais são, essencialmente, de origem térmica e hídrica. Relativamente à primeira, a geração de electricidade a partir da queima de combustíveis fósseis regista baixo rendimento médio, o que significa que, por cada unidade de electricidade produzida, o volume de emissões para a atmosfera – e consequente impacte ambiental – é relativamente elevado. Quanto à energia hídrica, está muito dependente dos recursos hídricos disponíveis anualmente no território nacional. Tendo em conta as oscilações sazonais de precipitação e os caudais existentes nas principais bacias hidrográficas, a energia hídrica apresenta algumas reservas, enquanto fonte estável de energia primária (não obstante ser muito importante). Assim, a opção por outras energias renováveis é um facto cada vez mais inadiável.

2.2.3 Consumo energético primário e final na R. A. Madeira

A rede eléctrica da Região Autónoma da Madeira, constituída pela Ilha da Madeira e pela Ilha do Porto Santo, é abastecida por três tipos principais de fontes de energia: os recursos hídricos e os eólicos, provenientes de produção local, e o fuelóleo, proveniente da importação de petróleo. Na Ilha da Madeira, o sistema de produção eléctrica consiste em 2 centrais termoeléctricas (figura 2.12), 10 centrais hídricas e mini-hídricas (figura 2.13), 1 central de queima de resíduos e 4 parques eólicos (figura 2.14). Na Ilha do Porto Santo, o sistema de produção eléctrica consiste em 1 central termoeléctrica (figura 2.12) e 2 parques eólicos (figura 2.14).



Fig. 2.12: Localização das centrais termoeléctricas na R. A. Madeira.

Fonte: Empresa de Electricidade da Madeira, 2008 [39].

A energia produzida pelas centrais hidroeléctricas tem duas vantagens fundamentais: é renovável e não é poluente. Nos últimos anos, a sua contribuição produtiva oscilou entre 15% e 30% da produção total anual. No entanto, tal não dispensa o investimento noutras fontes energéticas, dado que a produção hidroeléctrica depende, directamente, das condições atmosféricas, nomeadamente da ocorrência de precipitação. Esta, por definição, não é controlável e, como tal, faz variar imprevisivelmente a quantidade de energia produzida.



Fig. 2.13: Localização das centrais hidroeléctricas na R. A. Madeira.

Fonte: Empresa de Electricidade da Madeira, 2008 [39].

Como referido anteriormente, existem 6 parques eólicos ligados à rede, 4 na Madeira e 2 no Porto Santo (figura 2.14). Neste âmbito, a energia eléctrica produzida por via eólica tem beneficiado de investimentos acentuados nos últimos quinze anos, representando, actualmente, 1,4% da produção total anual de energia eléctrica. No entanto, apesar do seu desenvolvimento, apresenta três problemas distintos: **a)** só pode ser obtida com massas de ar em movimento, não sendo facilmente controlável; **b)** não pode ser armazenada; **c)** as variações de velocidade e direcção dos ventos criam problemas de instabilidade na tensão e frequência da rede eléctrica. Embora o avanço da tecnologia associada à electrónica de potência tente atenuar estes efeitos secundários, tal não dispensa, também, o investimento noutras fontes energéticas, devido à própria sazonalidade e intermitência da movimentação dos ventos.



Fig. 2.14: Localização dos parques eólicos na R. A. Madeira.

Fonte (adaptado): Empresa de Electricidade da Madeira, 2008 [39].

Em 2006, a energia total introduzida na rede eléctrica da R. A. Madeira registou um valor de 946,93 GWh, sendo que a emissão total de energia para a rede ascendeu a 944,98 GWh [43], em virtude do consumo de 1,95 GWh em bombagem, na central hidroeléctrica dos Socorridos [39]. A variação da energia emitida para a rede foi de 3,29%, face ao ano anterior. A contribuição por fonte de energia primária foi de 1,8% (componente eólica), 4,5% (queima de resíduos sólidos urbanos) 12,8 % (componente hídrica) e 81,0% (componente térmica), conforme indicado no gráfico da figura 2.15 [39].

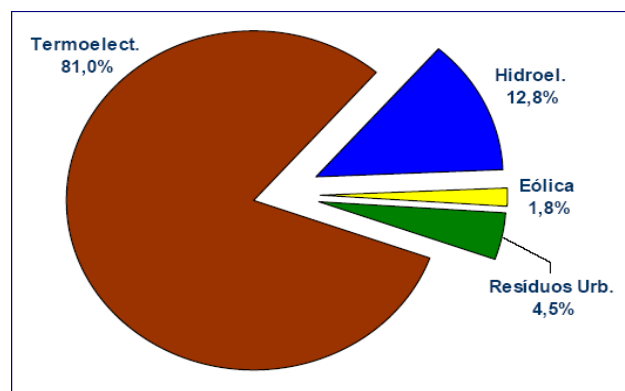


Fig. 2.15: Emissão de energia por fonte de energia primária. Fonte: EEM, 2007 [39].

2.2.4 Estratégias de desenvolvimento energético da R. A. Madeira

A Região Autónoma da Madeira encontra-se, actualmente, numa fase de desenvolvimento socio-económico, que se traduz num crescimento acelerado da procura de energia. Essa procura deve ser satisfeita de forma eficiente, para não surgirem obstáculos ao progresso e garantindo a minimização dos possíveis impactes na economia e no ambiente. O consumo de energia, para além de criar uma forte dependência externa e ser um peso nas importações (cerca de 3.150 milhões de euros no último ano, segundo informação da Vice-Presidência da R. A. Madeira, de Janeiro de 2009), constitui um factor de perda de competitividade para as diversas actividades económicas e para a Região no seu todo. É, por outro lado, causa de incidências ambientais negativas, que afectam o meio natural, a qualidade de vida da população e o desenvolvimento económico, fortemente suportado pelo turismo.

Neste âmbito, o planeamento energético para a Madeira visava, fundamentalmente, ser um instrumento de política energética adaptado às novas oportunidades e condicionantes induzidas pelo desenvolvimento regional, pelas tendências do sector energético, em termos tecnológicos e económicos, e pelas preocupações de ordem ambiental. Em 2002, elaborou-se um Plano de Política Energética da R. A. Madeira, tomando como referência o ano 2000 (PPERAM 2000). Em 2006, atendendo às perspectivas do sector, designadamente no que respeita à implementação do mercado europeu das licenças de emissão de dióxido de carbono (CO₂), à instabilidade dos preços do petróleo e à introdução do gás natural na Madeira, foi elaborada uma actualização do PPERAM, tomando como base o próprio ano de 2006.

Dado o crescimento do consumo energético nos últimos anos, foram adoptadas medidas de intervenção que assegurem um desenvolvimento sustentável, contemplando a protecção do meio ambiente, com a consequente redução de emissões de CO₂, através da utilização de combustíveis menos poluentes, bem como a maximização da penetração de energias renováveis, reforçando os investimentos nos aproveitamentos hídricos e eólicos para produção de energia eléctrica. Atendendo às necessidades impostas por um modelo de desenvolvimento sustentável, definiram-se, como grandes objectivos da política energética regional, a garantia do aprovisionamento, a competitividade económica e a protecção do ambiente.

Dada a tendência do crescimento da procura energética, a Madeira deve dispor, cada vez mais, de fontes energéticas primárias alternativas. Neste âmbito, têm vindo a adoptar-se estratégias baseadas nos seguintes conceitos: **a)** ultrapassar os limites impostos pela condição de insularidade, **b)** utilizar racionalmente a energia, **c)** valorizar os recursos energéticos regionais, **d)** adequar a oferta e a procura de energia, **e)** promover a cooperação inter-regional. Algumas das medidas tomadas, no âmbito dessas estratégias, incluem: **a)** convergência dos preços da electricidade para o valor nacional, **b)** aquisição de combustíveis com menor teor de enxofre, **c)** adopção dum sistema tarifário que incentive a transferência do consumo das horas de ponta para as de vazio, **d)** sensibilização para a utilização eficiente e racional da energia, essencialmente nos sectores do turismo e da indústria, **e)** maximização

do uso de energias renováveis, **f)** introdução do gás natural, em substituição do petróleo, como fonte de produção energética, a curto e médio prazo.

Relativamente à utilização das energias alternativas, a Madeira deverá obter, pelo menos 30% da produção de electricidade a partir de fontes renováveis, em alternativa aos combustíveis fósseis. Tal corresponderia a substituir, tendo em conta os custos de produção actuais, 945 milhões de euros de importações de combustíveis – que saíam do circuito financeiro da Madeira – por igual montante de despesa interna, equivalendo a cerca de 21% do PIB de 2006. A este nível, têm sido implementados projectos que começam a produzir alguns resultados. Entre estes projectos, encontram-se: **a)** a reconversão e ampliação de centrais hidroeléctricas com sistemas reversíveis, **b)** a construção de uma central de biocombustível marinho, no Porto Santo, **c)** a introdução de gás natural na rede de distribuição da Ilha da Madeira. Seguidamente, darei uma breve descrição desses projectos e da sua importância para a estratégia energética da R. A. Madeira.

O sistema de funcionamento reversível dos Socorridos, inaugurado em Março de 2007, veio ampliar a antiga Central Hidroeléctrica dos Socorridos, munindo-a de um sistema de funcionamento reversível, com uma componente eólica. Deste modo, é o primeiro investimento a contribuir de forma activa para o aumento do recurso eólico, garantindo ainda, durante todo o ano, a utilização da potência instalada, independentemente da ocorrência de pluviosidade. Este empreendimento permitiu aumentar a capacidade eólica em 25 MW de potência, dos quais 15 MW já estão adjudicados, o que triplicou a capacidade instalada anteriormente. A intervenção a cargo da Empresa de Electricidade da Madeira permitiu transformar a central hidroeléctrica num sistema reversível que possibilita, independentemente da ocorrência de pluviosidade, o usufruto da potência instalada em qualquer altura do ano, e não apenas no Inverno (figura 2.16).



Fig. 2.16: Sistema de funcionamento reversível da Central Hidroeléctrica dos Socorridos.

Fonte: Vice-Presidência Governo Regional da Madeira, 2008 [66]

O funcionamento deste sistema reversível pode ser descrito da seguinte forma: durante as horas de ponta (horas de maior consumo eléctrico), a água acumulada numa câmara de carga, e num

Noutro âmbito, o projecto de transformação de microalgas em biocombustível visa implementar, no Porto Santo, uma unidade industrial de produção de biocombustível marinho, com o objectivo de substituir o fuelóleo (com um consumo estimado de 94,9% [42]), actualmente utilizado para a produção de electricidade. Com esta intervenção, pretende-se que, com base num recurso ilimitado, limpo e ecológico, o Porto Santo se transforme, do ponto de vista energético, numa ilha auto-sustentável. Esta fonte de energia renovável, obtida através de fitoplâncton (microalgas unicelulares), constitui um grande potencial de biomassa do planeta. Sendo proveniente duma fonte sustentável, apresenta as seguintes vantagens: **a)** requer baixo consumo energético, **b)** tem uma elevada taxa de crescimento; **c)** não é poluente e absorve CO₂ com muita eficiência, **d)** estima-se ter um rendimento energético superior a 7000 kcal/kg.

O aproveitamento deste recurso implica o uso de tecnologia pioneira na conversão de energia, que possibilitará a produção segura, industrial, contínua e sustentável de biocombustível, semelhante ao petróleo de origem fóssil, mas sem inconvenientes. Desta forma, pretende-se reduzir as emissões de CO₂ e anular as emissões de SO₂ (dióxido de enxofre), e com o benefício de obter subprodutos úteis, sustentáveis, não contaminantes e economicamente viáveis. Deste modo, será possível substituir o fuelóleo, actualmente utilizado, por biocombustível marinho, evitando a importação de 17 mil toneladas de fuelóleo por ano e a emissão anual para a atmosfera de 50.000 toneladas de CO₂ (fig. 2.18).

As principais etapas de transformação de microalgas em biocombustível incluem: **a)** colocação das microalgas em tubos translúcidos (bioaceleradores electromagnéticos) em meio aquoso apropriado, **b)** injeção de CO₂ na presença de luz natural ou artificial para alimentação dos organismos unicelulares por fotossíntese permitindo assim a multiplicação das microalgas por mitose, **c)** esvaziamento parcial dos bioaceleradores electromagnéticos e armazenamento das microalgas em tanques de acumulação, **d)** obtenção da maior extracção possível de água do biocombustível, por centrifugação, até alcançar uma pasta espessa com uma textura betuminosa. A água recuperada é reintegrada no processo produtivo voltando aos bioaceleradores magnéticos, **e)** secagem do biocombustível através do processo de prensagem da biomassa, para este ficar com um teor de humidade entre 5 e 20%, **f)** processo de pirólise. A pirólise rápida resulta da decomposição química da biomassa por aquecimento a cerca de 500°, em ausência de oxigénio. Esta dá origem a biopetróleo (60%), biocarvão (15%), gases não-condensáveis (15%) e produtos secundários (10%).

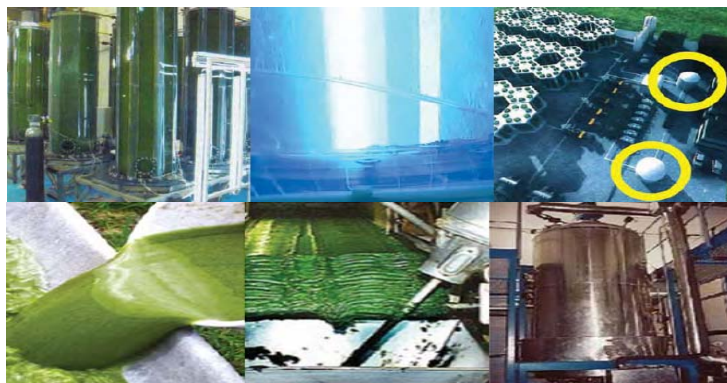


Fig. 2.18: Esquema de síntese da produção de biocombustível de origem marinha, a instalar no Porto Santo.

Fonte: Vice-Presidência Governo Regional da Madeira, 2008 [67]

A concretização deste projecto, com conclusão prevista para final de 2009, permitirá inverter totalmente a actual dependência do petróleo em favor de uma penetração gradual desta energia renovável, entre 2010 e 2017, que rondará os 97,5%, no final desse período. A realização deste projecto na Ilha do Porto Santo decorre do facto da ilha ter uma dimensão adequada para a implementação desta tecnologia inovadora/emergente, das restrições técnicas associadas ao incremento da componente eólica e da inviabilidade da instalação de aproveitamentos hidroeléctricos. O biocombustível assim produzido será consumido na actual central térmica.

Os projectos anteriores são importantes para os objectivos propostos no Plano de Política Energética da R. A. Madeira, mas a solução de curto e médio prazo passará pela utilização de gás natural, como energia de transição. De facto, o gás natural constitui uma das formas de energia mais competitivas, com significativas vantagens do ponto de vista ambiental, face ao petróleo, o que tem justificado o seu progressivo ganho de importância na estrutura de produção de energia eléctrica, tanto a nível europeu como mundial. Assim, e em consonância com os princípios orientadores do Plano Energético Regional, está a desenvolver-se um importante projecto de construção dum terminal de recepção, armazenamento e regaseificação de gás natural para produção de electricidade, disponibilizando, também, o acesso a este combustível por parte de outros sectores da actividade económica e dos consumidores domésticos.

As vantagens associadas ao projecto de gás natural são de natureza ambiental, económica e de diversificação de fontes de energia, salientando-se a forte redução de emissões de gases poluentes, nomeadamente de CO₂ (cerca de 130 000 toneladas só no primeiro ano de exploração, equivalente à paragem de 78 000 automóveis), um custo competitivo face ao fuelóleo na produção de electricidade e uma redução significativa da dependência do petróleo (fig. 2.19).

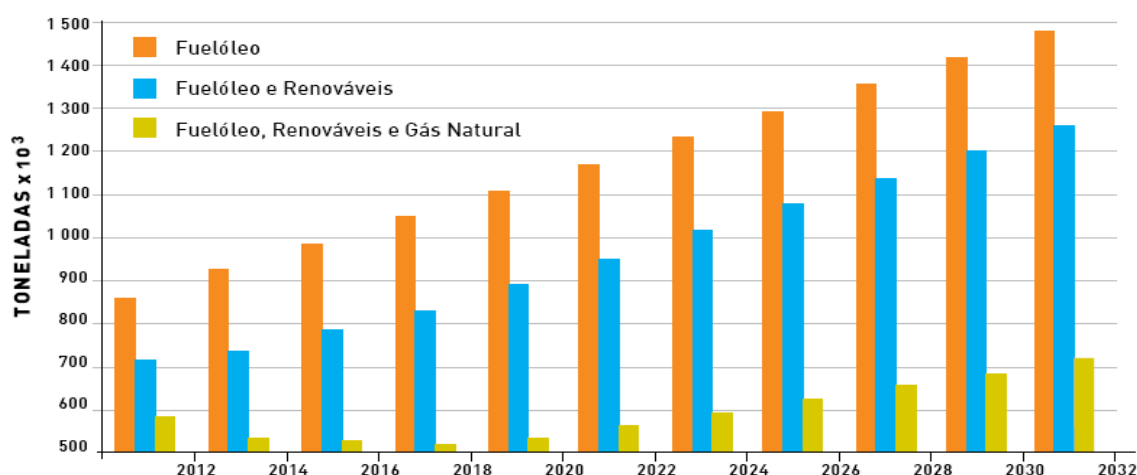


Fig. 2.19: Gráfico de emissões de CO₂, previstas na produção de energia eléctrica, após a conclusão do projecto de gás natural, e num período até 2030. Fonte: Vice-Presidência Governo Regional da Madeira, 2008 [68]

Por razões que se prendem com a proximidade dos principais e potenciais centros consumidores, o terminal de gás natural ficará situado numa plataforma marítima com cerca de 15 mil m², junto da foz da ribeira dos Socorridos. Numa primeira fase, será construído um reservatório com

um volume de 20 mil m³, todo o equipamento necessário para a trasfega, arrefecimento e regaseificação, bem como todo o sistema de controlo e segurança, ficando preparado para ser construído um segundo reservatório de capacidade equivalente, quando necessário. A ligação à estrutura de descarga marítima será feita por uma tubagem submarina refrigerada – uma tecnologia inovadora de impacto visual reduzido – que permitirá a utilização das bóias de amarração existentes, já utilizadas para descarga do combustível usado na Central Térmica da Vitória (figuras 2.20 e 2.21).



Fig. 2.20: Esquema da localização do reservatório e do sistema de trasfega de gás natural liquefeito.

Fonte: Vice-Presidência Governo Regional da Madeira, 2008 [68]

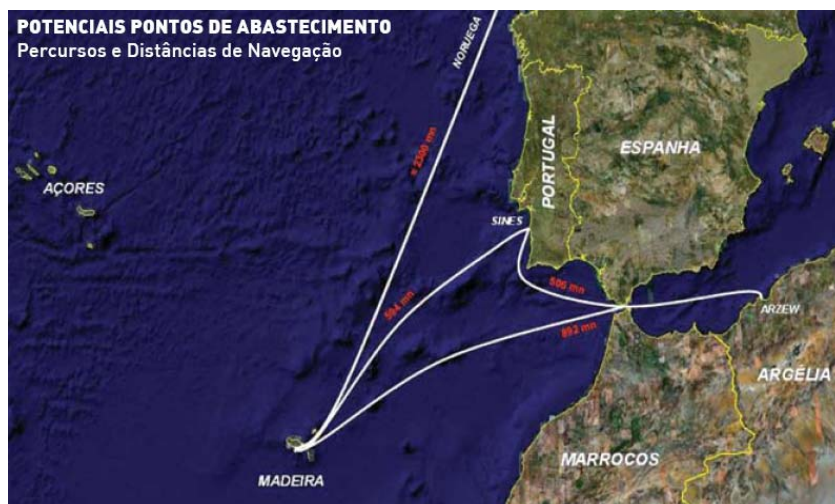


Fig. 2.21: Potenciais pontos de abastecimento e distâncias de navegação.

Fonte: Vice-Presidência Governo Regional da Madeira, 2008 [68]

3. ENERGIA DAS ONDAS

Recentemente, a energia das ondas tem sido alvo de grande actividade de investigação e desenvolvimento, tanto a nível nacional como internacional. Actualmente, a tecnologia encontra-se ainda em fase pré-comercial, pois as opções técnicas disponíveis estão ainda a ser aperfeiçoadas [35]. Este tipo de energia resulta da interacção entre o vento e a superfície da água. O vento recebe a sua energia por interacção com a radiação solar. Neste âmbito, sabe-se que cerca de 1% da radiação solar que atinge a superfície da Terra, por unidade de tempo, é convertida em energia cinética do ar (transferência de energia por radiação) e desta, cerca de 3% a 10 % é transferida para a superfície da água, sob a forma de energia das ondas [7].

3.1 Ondas

No âmbito proposto para este capítulo, as subsecções seguintes servirão como preâmbulo teórico para a compreensão dos diversos parâmetros estudados sobre a agitação marítima. Os parâmetros ondulatórios mencionados e os respectivos critérios de classificação das ondas são de extrema importância para a implementação de dispositivos de transformação de energia das ondas em energia eléctrica, uma vez que estes são concebidos e projectados, especificamente, para certos tipos de ondas.

3.1.1 Princípios físicos da teoria ondulatória

As ondas marítimas superficiais podem ser representadas, simplifcadamente, por ondas transversais bidimensionais, de perfil sinusoidal, que se propagam num fluido homogéneo, não viscoso, incompressível e com densidade ρ , que se desloca sobre um fundo horizontal de profundidade constante h . Classicamente, as ondas sinusoidais apresentam máximos (cristas) e mínimos (depressões) simétricos, sendo bem definidas pelos seguintes parâmetros: período (T), frequência (f), comprimento de onda (λ), altura (H), amplitude (A). O período corresponde ao tempo necessário para que uma partícula do fluido execute um ciclo de vibração completo. A frequência corresponde ao número de vibrações executadas pela partícula, por unidade de tempo (segundo). O comprimento de onda corresponde à distância, em metros, entre dois máximos (ou dois mínimos) consecutivos. A altura da onda corresponde à medida vertical, em metros, entre um máximo e um mínimo. A amplitude da onda corresponde à distância entre um máximo (ou um mínimo) e o meio da onda ($H/2$).

Considere-se a propagação da onda num sistema de coordenadas cartesianas (x, y), em que a abcissa (x) define a direcção de propagação da onda e a ordenada (y) define a direcção de perturbação, a partir da superfície livre não perturbada. A fig. 3.1 representa o esquema duma onda definida pelos parâmetros e condições anteriores.

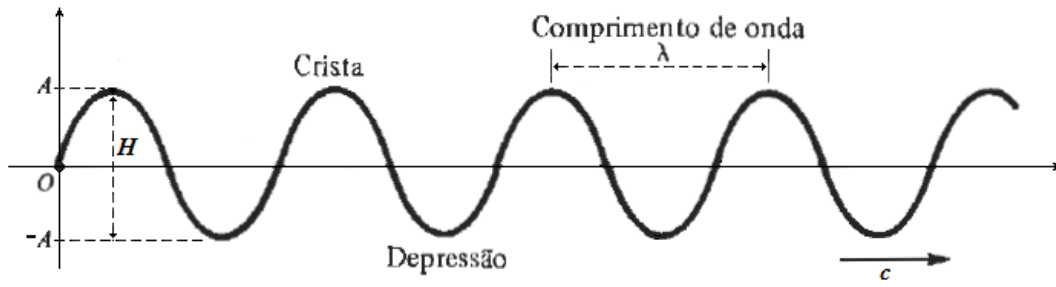


Fig. 3.1: Representação esquemática de uma onda sinusoidal. Fonte (adaptado): Bueche, 1983 [2].

A partir do parâmetro frequência (f), é possível derivar um novo parâmetro, a frequência angular (w). Sendo f o inverso do período T :

$$f = \frac{1}{T} \quad (1).$$

Tendo em conta a equação anterior, a frequência angular pode ser definida como:

$$w = 2\pi \cdot f \Leftrightarrow w = \frac{2\pi}{T} \quad (2).$$

A partir do comprimento de onda (λ), é possível derivar outro novo parâmetro, o número-de-onda (k), tal que:

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (3).$$

Partindo das equações 1, 2 e 3, é possível definir a velocidade de propagação da onda, ou celeridade (c), tal que:

$$c = \lambda \cdot f = \frac{\lambda}{T} \Leftrightarrow c = \frac{w}{k} \quad (4).$$

Para ondas transversais de pequena amplitude, ou seja, cuja amplitude é muito menor do que o comprimento-de-onda ($A \ll \lambda$), a elevação da superfície livre, que ocorre na direcção da perturbação (y), é definida como a distância medida entre a superfície livre do fluido perturbado e a superfície não perturbada, sendo expressa pela seguinte equação de onda:

$$y(x,t) = A \cdot \sin(kx - wt) \quad (5).$$

Na equação anterior, a variável t representa a componente temporal da perturbação. O sinal anterior ao termo wt define o sentido da propagação. Neste âmbito, o sinal ‘-’ indica o sentido positivo da propagação da onda. A sua troca pelo sinal ‘+’ implicará uma mudança de sentido da propagação.

Não obstante a simplificação adoptada para a representação das ondas marítimas, é possível observar, em determinadas condições, ondas semelhantes à anteriormente esquematizada, em mares reais. No entanto, habitualmente, a superfície do mar é mais complexa. Neste âmbito, uma representação realista (e menos simplificada) das ondas marítimas superficiais deverá ter em consideração certos fenómenos, naturalmente associados à teoria ondulatória, como sejam a reflexão, a refração, a difracção e o princípio da sobreposição. Relativamente a este último, é essencial referir que as ondas transportam energia e não matéria (exceptuando em áreas de rebentação de ondas) e, como tal, podem

sobrepor-se, gerando ondas complexas que resultam da soma das ondas individuais sobrepostas. Os parâmetros dessas ondas resultantes estão directamente relacionados com os parâmetros das ondas individuais que lhes deram origem. Deste modo, e a partir da equação 5, obtém-se a seguinte equação:

$$y_{res}(x,t) = \sum_{i=1}^n y_i(x,t) = \sum_{i=1}^n A_i \cdot \sin(k_i x - w_i t) \quad (6).$$

Nesta equação, os parâmetros A_i , k_i e w_i são intrínsecos a cada onda de índice i . De facto, a equação anterior corresponde ao somatório de diversas ondas sinusoidais com diferentes comprimentos-de-onda (λ_i), expressos nos respectivos números-de-onda (k_i) – como indicado pela equação 3, e diferentes amplitudes (A_i). Considerando uma celeridade igual para todas as ondas (pois o meio de propagação é o mesmo), tal que: $c_{res} = c_1 = c_2 = \dots = c_n$, então a cada λ_i corresponderá uma frequência angular w_i respectiva – como indicado pela equação 4. Deste modo, as ondas marítimas podem ser observadas como somatórios de ondas individuais, de diferentes amplitudes, direcções e comprimentos-de-onda, ou frequências (fig. 3.2) [4].

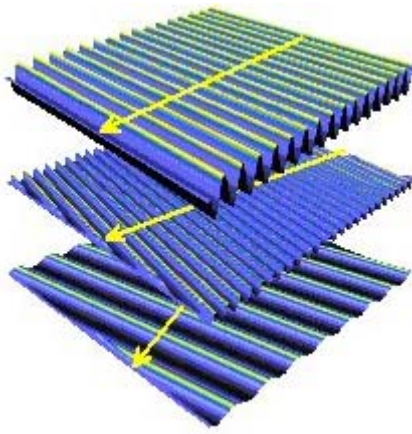


Fig. 3.2: Ondulações individuais, de diferentes amplitudes, direcções e comprimentos-de-onda.

Fonte: Carbon Trust, 2006 [38].

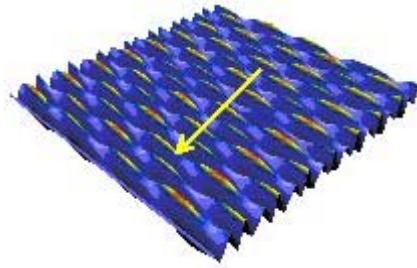


Fig. 3.3: Ondulação complexa, resultante da sobreposição das componentes individuais da fig. 3.2.

Fonte: Carbon Trust, 2006 [38].

O perfil real da agitação marítima surge, então, não como uma onda sinusoidal simples, mas como uma onda complexa, resultante da sobreposição de ondas sinusoidais individuais (fig. 3.3). Quando as ondas individuais possuem fases semelhantes, e os seus máximos (ou mínimos) se sobrepõem, ocorre uma sobreposição construtiva (as ondas adicionam-se). Ao invés, quando essas ondas possuem fases opostas, e os seus máximos (ou mínimos) se opõem, ocorre sobreposição destrutiva (as ondas anulam-se). Estas situações tornam a medição da periodicidade, altura real e densidade de energia, entre outros parâmetros da agitação marítima, ainda mais complexa.

Não obstante a complexidade da aplicação da equação 6 ao cálculo dos parâmetros das ondas, como a distribuição espectral, ou o fluxo de energia transportada, para ondas de perfil complexo, é possível simplificar esse cálculo, mediante a utilização de grandezas médias significativas. No caso da distribuição espectral da densidade de energia, esta pode ser convenientemente representada pelos

parâmetros da altura significativa, do período médio espectral de energia, do período de pico e da direcção mais favorável [23]. Neste âmbito, a altura significativa (H_s) representa a altura média de 1/3 das ondas mais altas (ou seja, as ondas tais que: $y_{res}(x,t) = y_{max}(x,t)$), com significado estatístico [10]. O período médio de energia (T_e) representa o valor médio do período (T), em relação ao espectro de energia das ondas (ver secção 3.1.3, para a classificação e espectro das ondas). Tem a vantagem de permitir o cálculo exacto do fluxo de energia em águas profundas, por ser mais sensível às frequências de ondulação que apresentam maior conteúdo energético.

O período de pico define-se como: $T_p = 1/f_p$, sendo f_p a frequência correspondente à ordenada espectral máxima ($y_{max}(x,t)$) [23]. Desta forma, a equação 6 retornará à forma da 5:

$$y_s(x,t) = A_s \cdot \sin(k_e x - w_e t) \quad (7).$$

Na equação anterior, y_s representa a elevação média significativa da superfície livre, A_s é a amplitude significativa (metade da altura significativa: $A_s = H_s / 2$), k_e representa o número de onda médio espectral ($k_e = 2\pi / \lambda_e$), em que λ_e é o comprimento-de-onda médio espectral das ondas consideradas para a determinação da altura significativa, e w_e é a frequência angular média significativa ($w_e = 2\pi / T_e$). Com base nestes parâmetros médios, é possível estimar o fluxo de energia transportada por cada frente-de-onda, assumindo uma aproximação do perfil real da ondulação marítima ao perfil duma onda sinusoidal média, que represente a agitação marítima típica. De acordo com a teoria ondulatória linear, a energia de cada componente individual, com frequência e direcção próprias, propaga-se independentemente à respectiva celeridade da onda resultante. Partindo desse princípio, obtém-se a seguinte equação, para a potência da agitação marítima [23]:

$$P = \frac{\rho \cdot g^2}{64\pi} H_s^2 \cdot T_e \quad (8).$$

Na equação anterior, ρ representa a densidade média da água do mar ($1,025 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$) e g representa a aceleração gravítica ao nível do mar ($9,8 \text{ m/s}^2$). Simplificando as constantes e exprimindo H_s em metros, T_e em segundos e P em kW/m , a equação 8 reduz-se à seguinte equação [23]:

$$P \approx \frac{1}{2} H_s^2 \cdot T_e \quad (9).$$

Relativamente à direcção mais favorável (θ), este parâmetro representa a direcção de propagação, para a qual o fluxo de energia direccionado (P_θ) apresenta o valor máximo. P_θ calcula-se a partir do espectro direccionado, por multiplicação de cada componente individual pela celeridade média, segundo a direcção θ . A densidade direccionada de energia pode ser caracterizada pelo coeficiente de direccionalidade (d_θ), que representa o quociente entre o fluxo de energia na direcção mais favorável, e o fluxo global de energia (dado pela equação 9):

$$d_\theta = \frac{P_{\theta f}}{P} \quad (10).$$

Este parâmetro pode ser calculado para sectores angulares de largura $\Delta\theta$, e valores próximos da unidade indicam uma concentração de energia na direcção θ . A determinação do parâmetro anterior é essencial para tecnologias de aproveitamento da energia das ondas que apresentem uma direcção preferencial de absorção da energia [23].

Relativamente aos fenómenos de refacção, difracção e reflexão, estes ocorrem nas ondas marítimas, tal como nas ondas sonoras, ou na radiação electromagnética. No caso das ondas marítimas, em particular, esses fenómenos dependem directamente do relevo e da topografia do fundo marinho, contribuindo decisivamente para a redistribuição da densidade de energia da onda. À medida que as ondas se propagam, as frentes-de-onda curvam-se, ficando tendencialmente paralelas aos contornos do fundo marinho e da linha de costa. Desta forma, a energia das ondas tende a concentrar-se em zonas batimétricas convexas, como elevações do fundo marinho e promontórios (áreas de costa salientes para o mar). Em certas condições batimétricas, podem ocorrer concentrações elevadas de energia em áreas reduzidas, que podem constituir pontos de excelência para a colocação de tecnologias de aproveitamento dessa energia. Em zonas de concavidade do fundo marinho, como por exemplo em baías, a energia tende a dispersar-se mais rapidamente, diminuindo a densidade de energia das ondas.

Os fenómenos de refacção e de reflexão provocam alterações na direcção das ondas. Como tal, devem ser considerados durante a instalação de dispositivos em águas pouco profundas, para aproveitamento de energia das ondas, pois a eficiência dos mesmos depende directamente da sua orientação, relativamente às frentes-de-onda. Durante o fenómeno de refacção, as frentes-de-onda tendem a curvar-se, quando o sistema ondulatório se encontra mais próximo do fundo marinho (fig. 3.4). A refacção distribui a energia de forma variável, criando acumulando mais energia em zonas convergentes e dissipando a energia em zonas divergentes. Deste modo, a refacção é um dos fenómenos a ter em conta na selecção de áreas para instalação e construção dos equipamentos, devendo evitar-se a coincidência da entrada do equipamento, ou da própria estrutura, com zonas de convergência [14].

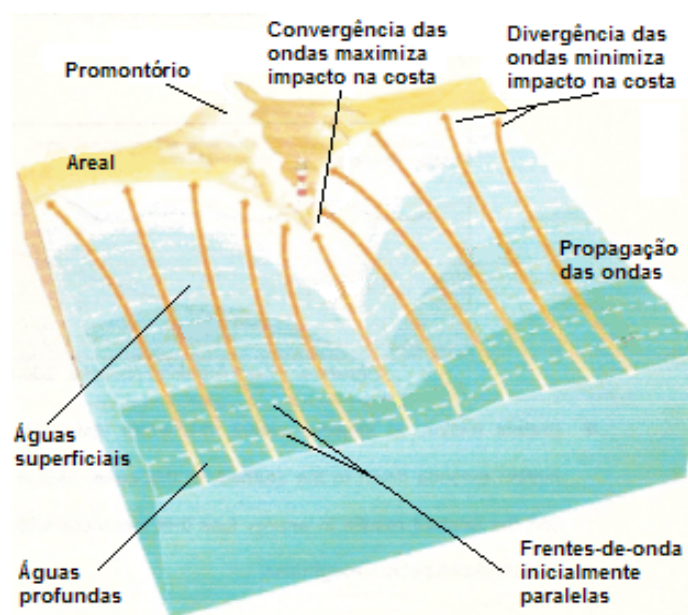


Fig. 3.4: Refracção de ondas junto à linha da costa. Fonte (adaptado): Cruz e Sarmiento, 2004 [8].

O fenómeno de reflexão ocorre em áreas da linha de costa que apresentem barreiras verticais (naturais ou artificiais), como um molhe, ou um pontão, que reflectem parte da energia da onda novamente para o mar. Em caso de perpendicularidade entre as ondas incidentes e o obstáculo, podem formar-se ondas estacionárias. Por outro lado, o fenómeno de difracção provoca o encurvamento das frentes-de-onda em torno de objectos (ou após a passagem por zonas estreitas), o que permite a penetração da ondulação nos portos e por detrás das barreiras (fig. 3.5). Desta forma, provoca uma transferência de energia entre áreas de grande densidade de energia e de pouca densidade de energia, constituindo, por isso, um fenómeno desfavorável à aplicação de tecnologias de aproveitamento de energia das ondas em áreas próximas da costa.

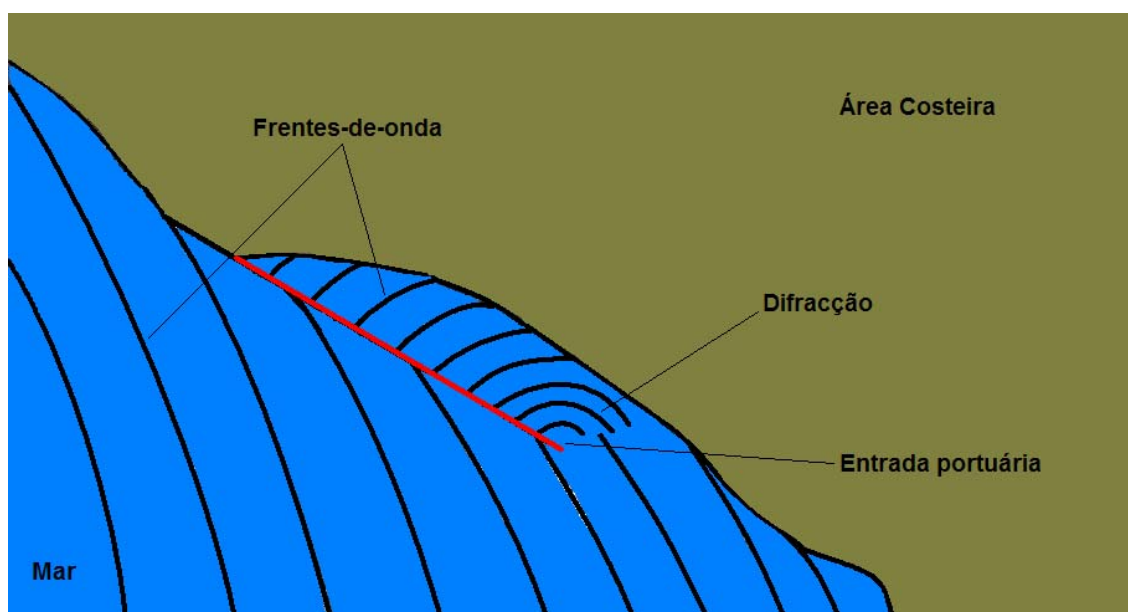


Fig. 3.5: Difracção de ondas na entrada dum porto. Fonte (adaptado): Thurman, 1997 [32].

3.1.2. Geração e evolução de ondas

A hidrosfera terrestre está sujeita a inúmeros factores de perturbação, que geram fenómenos de movimentos ondulatórios superficiais e internos. Tais movimentos abrangem as correntes oceânicas, ondas internas e superficiais, e pequenos vórtices. Os factores perturbativos responsáveis por esses movimentos incluem, entre outros, a interacção com a radiação solar, a interacção gravítica com outros corpos do Sistema Solar (forças de maré) e a própria rotação da Terra. Relativamente a esta última, a sua contribuição deve-se à designada força de Coriolis, que age como uma força de deflexão e, como tal, depende directamente da latitude e da velocidade do objecto em movimento. A radiação solar influencia a movimentação oceânica, quer através da absorção da radiação (aquecimento da água), quer através da circulação atmosférica (ventos). Dado tratar-se dum fluido, a água constitui um bom meio material de propagação. Como tal, os factores de perturbação tenderão a transferir energia na forma de movimentos ondulatórios. As ondas, assim produzidas, serão caracterizadas por diferentes origens, que afectam directamente a sua forma.

Neste âmbito, verifica-se que certos factores, como o vento, a interacção gravítica com corpos celestes (em particular a Lua e o Sol), os sismos e condições anómalas de pressão atmosférica, provocam o aparecimento de ondas superficiais. Por outro lado, factores como perturbações do fundo marinho e fenómenos de atrito, entre a massa de água e o relevo oceânico, provocam o aparecimento de ondas internas [29]. Estas últimas não serão relevantes para o estudo em causa, pois as tecnologias de aproveitamento de energia das ondas não foram concebidas para este tipo de ondas. Relativamente aos ventos, a sua energia é transferida para as camadas superficiais do oceano através do atrito entre a atmosfera e a superfície do mar, devido à circulação induzida pelo vento [14]. A quantidade de energia transferida para a superfície do mar depende da velocidade do vento e do tempo que este sopra por cima das ondas e, por último, da distância ao longo da qual o vento sopra numa dada direcção. Esta energia transferida proporciona uma concentração natural da energia eólica na água, junto da superfície livre do mar [4].

Relativamente às ondas superficiais, e após a sua criação, estas podem percorrer milhares de quilómetros, com pouca energia perdida, excepto se encontrarem ventos contrários. Perto da costa a energia das ondas dissipa-se, devido à interacção com o relevo marinho, podendo ser compensada com fenómenos naturais de refacção e reflexão, como debatido na secção 3.1.1. A interacção da circulação atmosférica com a superfície do mar (fig. 3.6), provoca o aparecimento de pequenas deformações rugosas nesta última, com uma disposição aleatória.

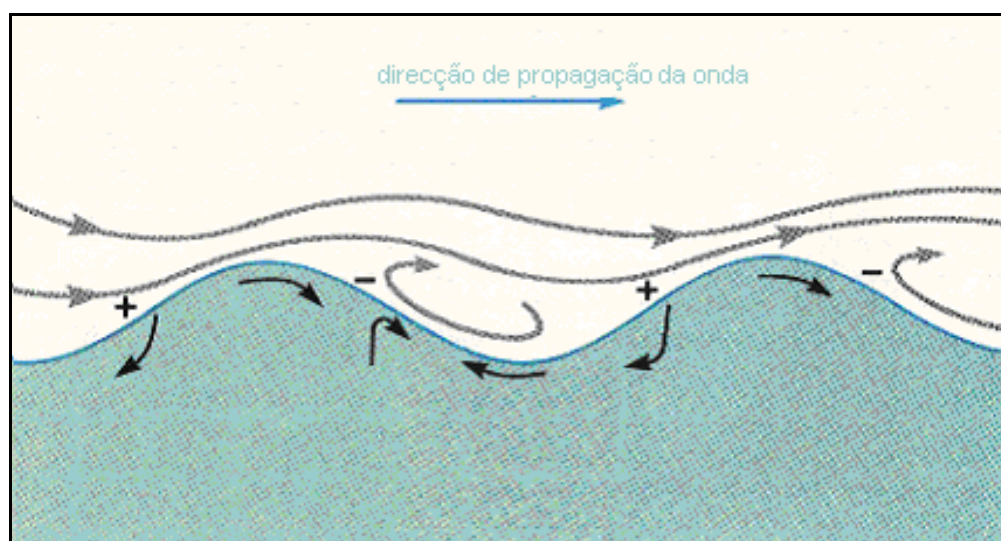


Fig. 3.6: Interação da circulação atmosférica com a superfície do mar.

Fonte (adaptado): Open University, 1991 [34].

Destas deformações, surgem ondas capilares, de cristas arredondadas e depressões pouco acentuadas, com comprimentos-de-onda curtos ($\lambda < 1,74 \text{ cm}$) e celeridades reduzidas ($c \sim 24 \text{ cm/s}$) [14]. Com o desenvolvimento destas ondas, a superfície do mar torna-se irregular, provocando maior exposição à circulação atmosférica e, conseqüentemente, maior transferência de energia da atmosfera para a hidrosfera. A figura 3.7 esquematiza o movimento das moléculas de água, que origina a ondulação periódica.

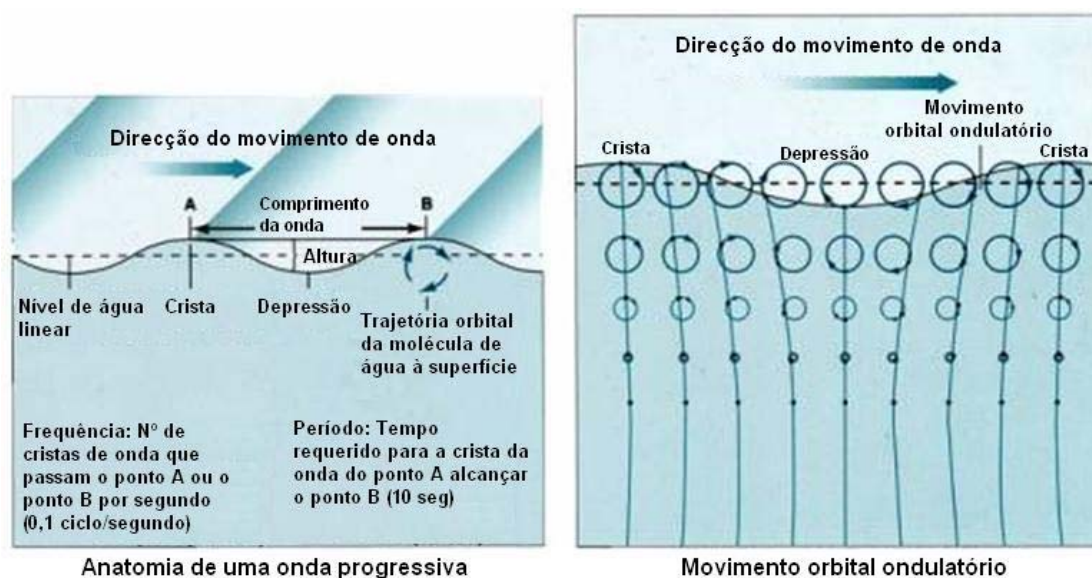


Fig. 3.7: Esquema que traduz o movimento das moléculas de água, que origina a ondulação periódica.

Fonte (adaptado): Garrison, 2001 [13].

Com o aumento de energia transferida, dá-se o aparecimento de ondas de gravidade, com comprimentos-de-onda maiores ($\lambda > 1,74 \text{ cm}$) e um perfil aproximadamente sinusoidal. Nesta fase, quando a proporção entre a altura da onda (H) e o seu comprimento-de-onda (λ) atinge o valor de $1/7$, a gravidade passa a actuar como principal força de restauração da superfície. Se a transferência de energia continuar a aumentar, a amplitude (A) da onda aumenta mais do que o seu comprimento (λ), o que provoca a acentuação das cristas e o nivelamento das depressões [10]. A transferência de energia cessará, somente quando a celeridade da onda igualar a velocidade da circulação atmosférica. Desta forma, a transferência de energia, devida à circulação atmosférica, influencia directamente a altura (A), o comprimento-de-onda (λ) e celeridade (c) das ondas.

Tal como foi referido na secção 3.1.1, a direcção de propagação da onda é perpendicular à direcção de perturbação, dado que as ondas marítimas são ondas transversais. Deste modo, essas ondas propagam-se perpendicularmente à linha das cristas. Neste âmbito, a direcção e o sentido de propagação das ondas é definida pela direcção e pelo sentido da circulação atmosférica (direcção e sentido do vento). Deste modo, as ondas são geradas na direcção do vento e propagar-se-ão no sentido sotavento (“para onde sopra o vento”). Se a direcção e o sentido do vento mudarem, produz-se um novo conjunto de ondas, nessa nova direcção e sentido. As ondas produzidas anteriormente à mudança continuam a sua propagação, e a sua direcção só se alterará quando embatem num obstáculo, ou quando entram em águas profundas. Nestes casos, ocorrerão fenómenos de reflexão, refacção e dispersão [14].

Os fenómenos referidos no parágrafo anterior constituem deformações típicas das ondas marítimas, durante a sua propagação. Outra das deformações mais comuns está relacionada com a trajectória das moléculas de água, por influência da variação da batimetria (fig. 3.8).

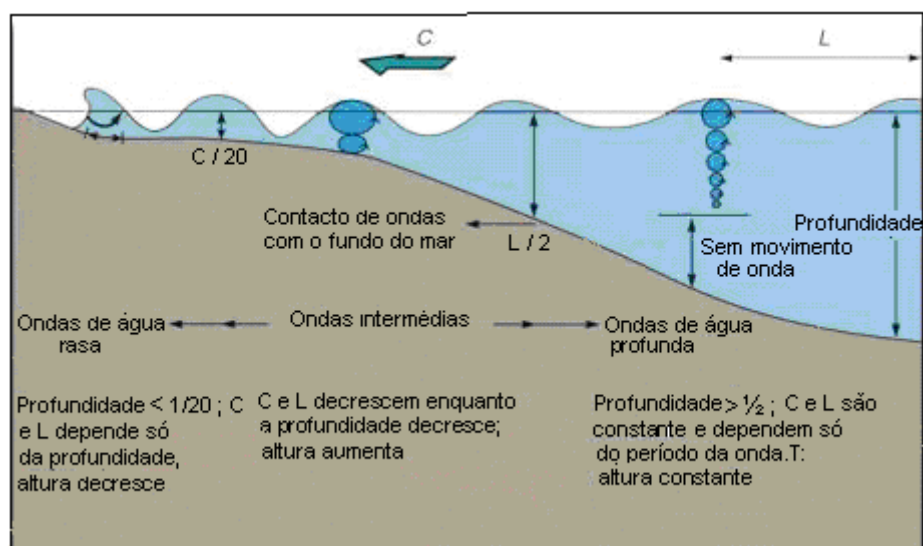


Fig. 3.8: Deformação das ondas com a variação da batimetria. Fonte (adaptado): Duxbury e Sverdrup, 2000 [9].

Em águas profundas, as moléculas de água mais superficiais apresentam uma trajectória circular, e a sua influência sobre as restantes moléculas de água da onda decresce exponencialmente com a profundidade [10]. Por outro lado, ao aproximarem-se da linha de costa (águas pouco profundas) as ondas sofrem deformações, devido aos fenómenos de refacção e de reflexão, já explicados na secção 3.1.1, e os seus movimentos deixam de ser trajectórias circulares (fig. 3.9). Em águas de profundidade intermédia, as moléculas apresentam trajectórias elípticas e, em águas pouco profundas, as moléculas passam a oscilar praticamente num plano horizontal (oscilação linear). Desta última situação deriva o transporte de matéria (sedimentos) nas áreas de rebentação, nas quais as ondas marítimas deixam de ter um comportamento ondulatório clássico (que implica transporte exclusivo de energia).

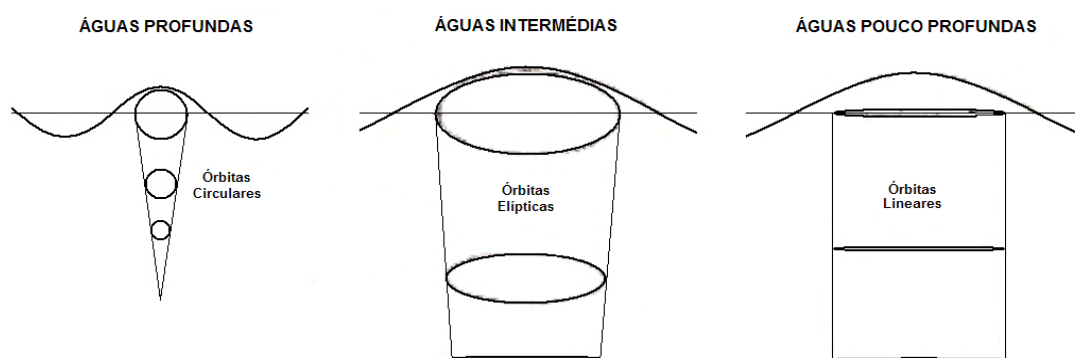


Fig. 3.9: Variação da trajectória das moléculas de água com a profundidade relativa.

Fonte (adaptado): H. V. Thurman, 1997 [32].

3.1.3. Classificação de ondas

A classificação de ondas pode ser obtida, mediante a caracterização das suas várias propriedades, nomeadamente a profundidade relativa, o comprimento-de-onda, a frequência (ou o período) e as forças perturbadoras e restauradoras do equilíbrio. Relativamente à profundidade relativa, já foi referi-

do, na secção 3.1.2 (último parágrafo da secção), que o movimento das moléculas de água, por transferência de energia à passagem da onda, decresce exponencialmente com a profundidade, pelo que o comportamento e espectro energético das ondas em águas profundas, intermédias e pouco profundas é distinto. Relativamente ao comprimento-de-onda e à frequência, estes dependem da força perturbadora que originou a onda e, como tal, caracterizam directamente o espectro energético da onda. A figura 3.10 apresenta o espectro de energia das ondas superficiais, de acordo com as classificações referidas.

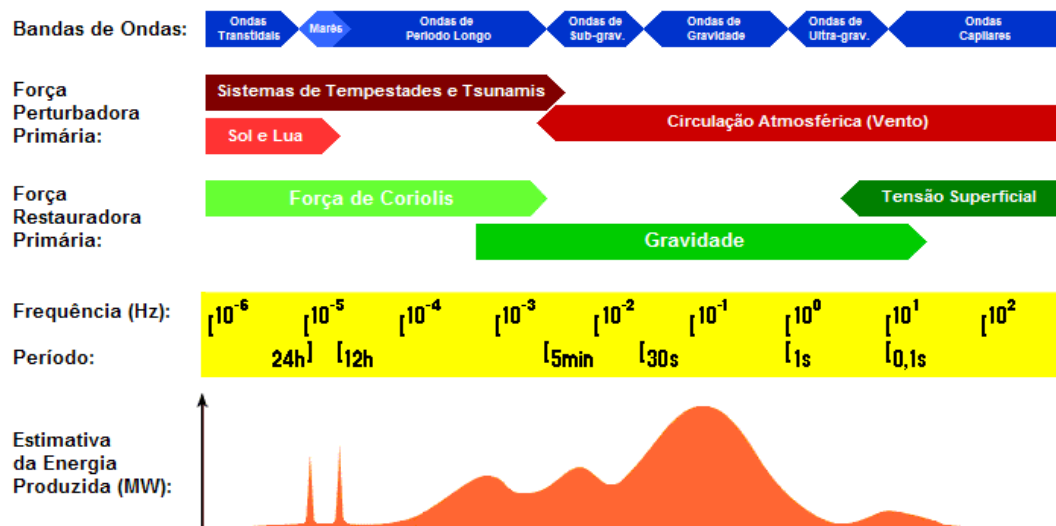


Fig. 3.10: Distribuição espectral média da energia das ondas superficiais. Fonte (adaptado): Kinsman, 1965 [17].

O espectro reflecte a importância das ondas marítimas cuja força perturbadora é a circulação atmosférica (vento) e cuja força restauradora é a gravidade. Essas ondas, correspondentes a períodos de oscilação entre 1 e 30s, são as que apresentam maior concentração de energia, sendo, por isso, as mais eficazes, do ponto de vista do aproveitamento energético. Não obstante, o gráfico revela duas outras bandas estreitas de interesse, centradas nas 12h e nas 24h, relativas às marés. Dado o âmbito deste estudo, o mesmo irá centrar-se no recurso energético das ondas superficiais produzidas pela circulação atmosférica, que se encontram presentes nos mares e oceanos de todo o mundo, nomeadamente na zona marítima considerada – a orla costeira da Região Autónoma da Madeira – e que apresentam a densidade de energia mais importante, para fins de aproveitamento energético.

3.2 Enquadramento Geofísico e Oceanográfico

Para além dos parâmetros ondulatórios mencionados na secção anterior, a implementação de técnicas de aproveitamento de energia das ondas implica, igualmente, o conhecimento dos parâmetros geofísicos e oceanográficos das áreas propícias à aplicação dessas tecnologias. Em particular, as áreas mais importantes para o estudo de tais parâmetros são a zona costeira, a plataforma e o fundo oceânico. Entre os parâmetros referidos destacam-se a sedimentologia, a batimetria, as correntes oceânicas e atmosféricas, as marés e a ondulação, a salinidade e densidade da água, e as condições meteorológicas típicas (temperatura e precipitação). Estes parâmetros serão analisados nas subsecções seguintes.

3.2.1 Sedimentologia

A sedimentologia permite conhecer a constituição do fundo marinho. A maioria dos materiais depositados no fundo do mar tem origem superficial, através da descarga dos rios ou através dos ventos. No caso de ilhas, os sedimentos são de origem oceânica e vulcânica, principalmente. A análise da composição das camadas sobrepostas de sedimentos proporciona informações sobre as correntes oceânicas numa determinada região. Quando essas correntes atingem velocidades elevadas, podem danificar os dispositivos aí fixados, pelo que devem ser consideradas aquando da instalação de equipamentos no mar, que necessitem de pontos de fixação no fundo marinho. Relativamente ao arquipélago da Madeira, o Instituto Hidrográfico promoveu alguns estudos científicos sobre sedimentologia na zona costeira da ilha. Os parágrafos que se seguem referenciam o estudo mais recente sobre esse assunto.

No âmbito dum estudo multidisciplinar da plataforma insular Sudoeste da Madeira [26], caracterizou-se a sua cobertura sedimentar, entre a Ponta do Pargo e o Cabo Girão. Na parte mais oriental, o padrão da distribuição sedimentar revelou o domínio de areia média e grosseira. Na parte mais ocidental da plataforma, revelou-se o domínio de partículas de areia fina e silte grosseiro. Numa área mais restrita, situada nas imediações da foz da Ribeira Brava, verificou-se a presença de minerais pesados na fracção arenosa dos sedimentos, com origem nas rochas ígneas básicas do maciço vulcânico da Madeira e da erosão de arribas instáveis. A análise integrada do padrão de sedimentos e do forçamento oceanográfico permitiu deduzir um transporte sedimentar dirigido para Sudeste, no sector ocidental (Oeste da Calheta), onde predomina a erosão costeira. A Este da Calheta, a sedimentação deve-se às descargas das ribeiras e a direcção de transporte faz-se perpendicularmente à costa.

Na região Sudoeste, as condições oceanográficas são os principais processos de distribuição sedimentar, até profundidades de 30 m. Na região Sul, devido ao regime de agitação marítima mais frequente, o transporte sedimentar é mais fraco. No entanto, em condições de agitação mais energética do que o normal – agitação ao largo da ilha com rumos de Oeste/Noroeste – pode haver transporte sedimentar em profundidades superiores a 30 m. Em condições de agitação mais energética, associadas a correntes induzidas pelo vento, é possível que o transporte ocorra numa área considerável da plataforma. Por outro lado, a distribuição sedimentar reflecte o efeito dos diferentes regimes oceanográficos, durante um período de tempo longo. A interpretação dessa distribuição, juntamente com as condições oceanográficas e a orientação geográfica da plataforma, sugere que as costas Oeste e Noroeste da ilha estão sujeitas a um regime energético muito elevado, que decresce nas costas Nordeste e Este.

No sector ocidental, até à Fajã da Ovelha, a plataforma encontra-se sujeita um regime de agitação mais energético, o que se reflecte na dimensão granulométrica dos sedimentos que constituem o fundo. Estes são constituídos por depósitos residuais de areia grosseira e cascalho uma vez que a fracção mais fina da areia é transportada pela acção das ondas e correntes para Sudeste. O fornecimento sedimentar, para esta zona da plataforma, resulta, essencialmente, do desmantelamento das arribas litorais uma vez que estas se encontram sujeitas a uma forte acção da agitação marítima e não existe nenhuma linha de água importante que drene para este sector. A diminuição progressiva do diâmetro

médio dos sedimentos de fundo que se observa até à zona da Calheta é o reflexo de uma diminuição progressiva do gradiente energético. É precisamente na extremidade Sudeste deste sector que se pode observar a deposição das areias finas, que são transportadas de Noroeste.

O sector entre a Calheta e a Ponta do Sol é marcado pela existência de depósitos sedimentares mais finos, que se pode traduzir num potencial energético menor. Os depósitos arenosos da plataforma interna são constituídos por areia fina de composição homogénea e de grande continuidade espacial. As interpretações das análises de minerais e dados das correntes, mostram que o transporte é perpendicular à linha de costa, embora apresente uma componente paralela. A continuidade lateral destes depósitos litorais associada ao facto de não se observar uma variação significativa, indica que o desmantelamento das arribas litorais é o principal processo de fornecimento de partículas. A zona compreendida entre a Ponta do Sol e o Cabo Girão é muito semelhante ao sector anterior, observando-se níveis energéticos reduzidos junto ao fundo, com um transporte sedimentar perpendicular à linha de costa.

3.2.2 Batimetria da plataforma insular

A batimetria é outro parâmetro fundamental, no âmbito da fixação dos dispositivos. Ao largo da ilha da Madeira, o fundo oceânico atinge uma profundidade média de 3000 m. No entanto, por questões de operação e manutenção, as tecnologias existentes exigem profundidades muito menores, da ordem das dezenas de metros. Tais profundidades só se encontram em áreas próximas da costa, como se observa na figura 3.11. Além da profundidade, é preciso considerar o relevo submarino na instalação dos dispositivos, uma vez que a maioria necessita de sistemas de ancoragem nivelados.

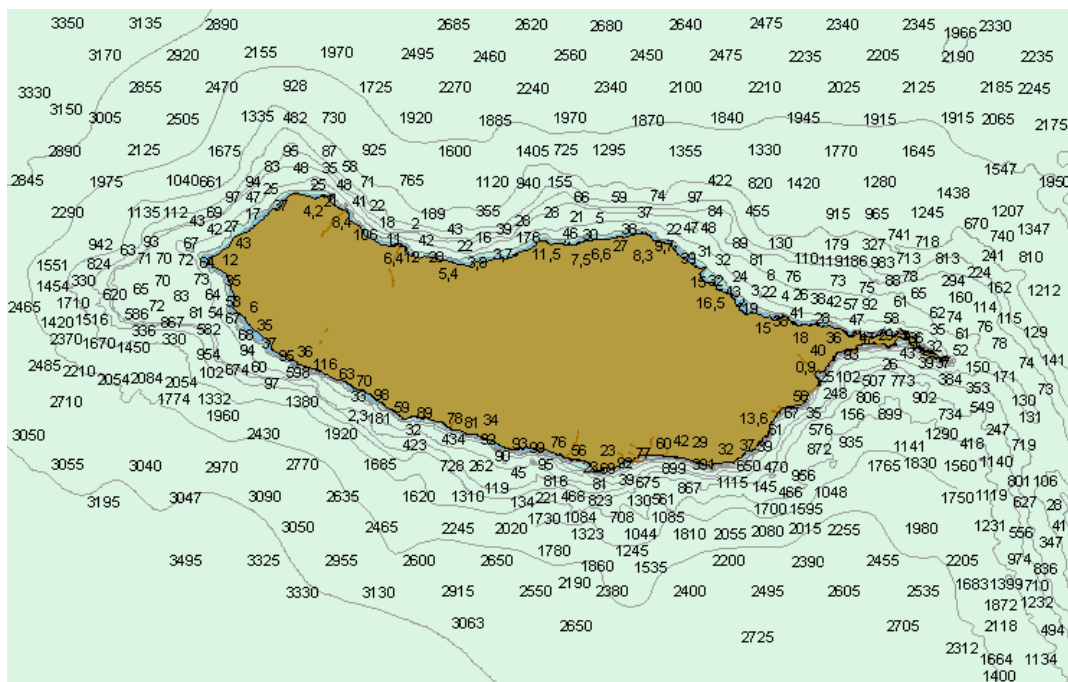


Fig. 3.11: Batimetria da costa da R. A. Madeira, com linhas isobatimétricas.

Fonte (adaptado): <http://www.hidrografico.pt/cartografia-nautica-nacional.php>

3.2.3 Principais correntes oceânicas e atmosféricas

Dada a posição geográfica do Arquipélago, e fazendo referência ao *Roteiro do Arquipélago da Madeira e Selvagens*, elaborado pela Missão Hidrográfica das Ilhas Adjacentes, decorrente de 1936 a 1938, sabe-se que a Corrente do Golfo é a que mais se faz sentir no Arquipélago da Madeira, principalmente entre a Ilha da Madeira e a Ilha do Porto Santo: “ [...] corre no sentido de Norte-Sul a uma velocidade de cerca de 12 a 16 milhas por dia e incorre perpendicularmente na costa Norte da Ilha da Madeira, contornando-a pelos dois extremos Oeste e Leste, (Ponta de S. Lourenço e Ponta do Pargo), agrupando-se depois a Sul [...]”. Esta corrente está directamente relacionada com a circulação atmosférica existente na região do Atlântico Norte. A figura 3.12 é demonstrativa da circulação das correntes oceânicas em redor da ilha [33].



Fig. 3.12: Circulação das correntes que contornam as ilhas pelos extremos, agrupando-se a Sul.

Fonte: Nasa, 2003 [70].

Tal como foi referido na secção 3.1.2, a direcção de propagação da circulação atmosférica influencia, directamente, a agitação marítima e a circulação das correntes superficiais. Neste âmbito, a fig. 3.13 representa o padrão de circulação atmosférica média, e das correntes oceânicas superficiais, no Atlântico Norte. Nela, é possível observar a posição média da área anticiclónica à superfície do Atlântico Norte (geralmente designada de anticiclone dos Açores), e a depressão da Islândia. A posição dos dois centros de pressão, indicados na figura, é a habitualmente presente na época de Verão do hemisfério Norte. No Inverno, a área anticiclónica tem uma posição média a sul dos Açores. As setas pretas indicam a direcção média da circulação atmosférica, e as setas cinzentas marcam a direcção das correntes oceânicas superficiais.

Legenda:

A - anticiclone dos Açores

B - depressão da Islândia

TA - turbilhão anticiclónico oceânico

TB - turbilhão ciclónico oceânico

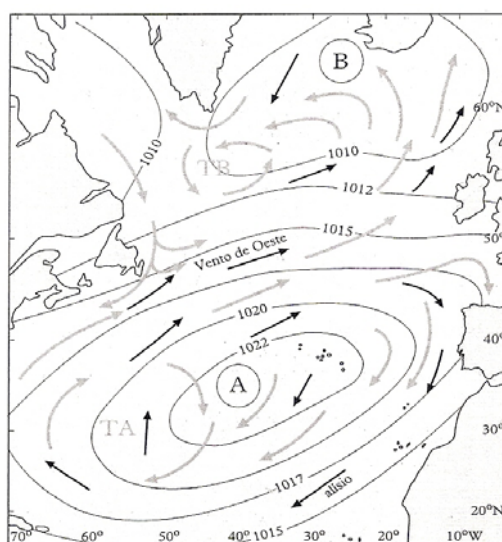


Fig. 3.13: Circulação atmosférica média e correntes oceânicas superficiais, no Atlântico Norte (linhas de pressão cotadas em hectopascals (hPa)). Fonte: Ferreira et al., 2005 [12].

De acordo com a imagem anterior, e relativamente às correntes oceânicas de superfície existentes no Arquipélago da Madeira, estas contextuam-se na circulação geral do sistema de correntes do Atlântico Norte, com origem na Corrente do Golfo (parte do estreito da Florida e desloca-se para Este através do oceano). A fracção oriental deste sistema de circulação é constituída pelas Correntes dos Açores, de Portugal Continental, das Canárias e a Equatorial Norte. Neste contexto, a bacia do Arquipélago da Madeira é banhada por massas de água de profundidade, destacando-se as seguintes: Água Central do Atlântico Norte, Água Central do Atlântico Sul e a Massa de Água Mediterrânica [47].

A fig. 3.14 representa um esquema sintético da hidrologia no espaço português do Atlântico Oriental.

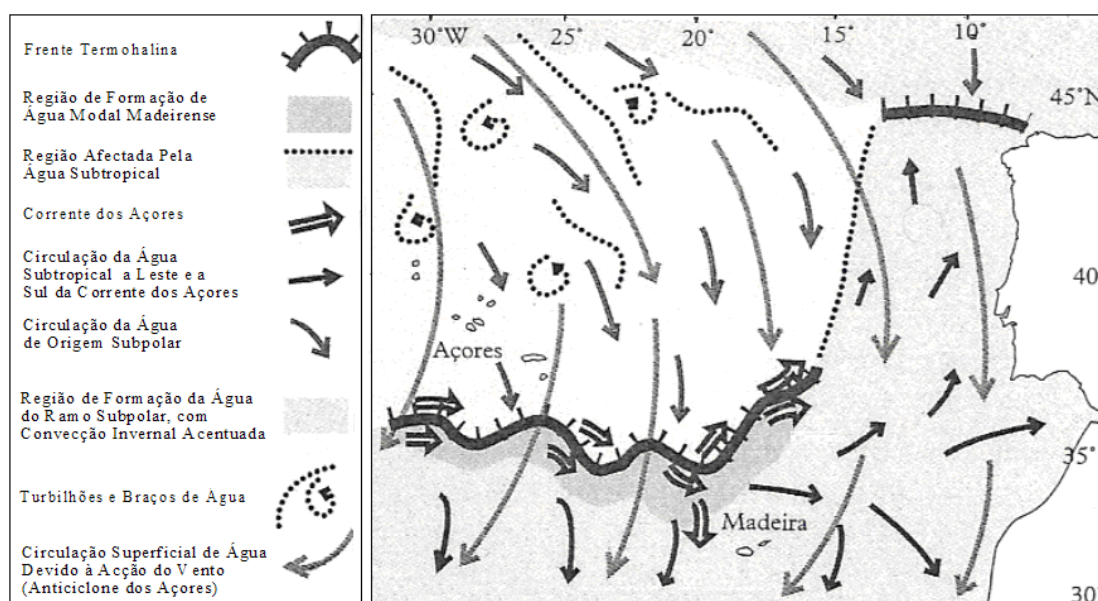


Fig. 3.14: Hidrologia do espaço português no Atlântico Oriental. Fonte: Ferreira et al., 2005 [12].

De acordo com a imagem anterior, a Corrente dos Açores separa-se da Corrente do Atlântico Norte, na direcção Sul. A Corrente de Portugal Continental corre a Oeste da costa Galega e Portuguesa, numa região caracterizada pela circulação lenta entre as correntes do Atlântico Norte e a Corrente dos Açores, além de marcar o limite Norte da Corrente das Canárias. A corrente das Canárias é caracterizada genericamente por um fluxo de sentido Norte-Sul, ao longo da costa africana, podendo ainda influenciar as águas do Arquipélago da Madeira. Esta é uma corrente larga e lenta, de águas relativamente frias, que origina uma corrente costeira convectiva. Estas correntes oceânicas têm os ventos como força impulsionadora principal, dada a influência do anticiclone dos Açores (fig. 3.13) [12].

3.2.4 Marés e ondulação

Na Madeira, as marés são do tipo semi-diurno regular, havendo diariamente duas preia-mares e duas baixa-mares, com uma amplitude relativamente constante em toda a região do arquipélago. Durante a enchente, a onda de maré vem de Sudoeste, fazendo-se sentir regularmente as respectivas correntes ao longo da costa Sul, principalmente nas pontas mais salientes da ilha (cabos). As águas da enchente dividem-se na costa Sul da Madeira, correndo para Oeste e para Leste a partir da Ponta do Sol, até à Ponta do Jardim do Mar. Desta ponta até à Ponta do Pargo as correntes marítimas desenvolvem-se geralmente para Noroeste. As respectivas correntes têm direcções paralelas ou ligeiramente inclinadas para a costa, sendo por vezes bastante fortes ao largo. Durante a vazante as correntes são mais fracas, com velocidades mais elevadas na proximidade dos cabos. As águas da vazante deslocam-se para Oeste/Noroeste, na Ponta do Pargo, e para Este, na Ponta do Jardim do Mar, na Ponta do Sol e na Ponta da Cruz. Nas marés mortas as velocidades são muito fracas ou mesmo nulas. Durante as marés vivas as correntes atingem velocidades de cerca de 1 nó, correndo as águas para Sul na Ponta de São Lourenço, para Oeste na Ponta de São Jorge e no ilhéu Mole, para Oeste/Sudeste na Ponta do Tristão, para Oeste/ Noroeste na Ponta do Pargo e para Este na Ponta do Jardim do Mar, na Ponta do Sol e na Ponta da Cruz. Nos temporais, com ventos fortes, as marés podem sofrer uma variação acentuada de velocidade e direcção.

A agitação marítima na região da Madeira é geralmente fraca ou moderada, com rumos predominantes de Noroeste para Nordeste, excepto junto ao litoral sul da ilha em que predominam os rumos de Sudeste para Sudoeste [33]. Os dados de correntes medidos junto ao fundo, a cerca de 20 m de profundidade, a Sudoeste da Ribeira Brava, entre 3 de Junho e 27 de Julho de 2002, validaram a presença duma corrente residual e de maré, com sentido de Sudeste para Noroeste, atingindo velocidades entre os 8 e os 12 cm/s. Filtrando o efeito da maré verificou-se que a corrente residual apresentou um valor de 6 cm/s com a mesma direcção. Na corrente residual, detectou-se ainda a existência duma pequena componente com sentido de Noroeste para Sudeste, provavelmente relacionada com a acção do vento [36].

Relativamente à ondulação do mar, esta varia consideravelmente ao longo da plataforma insular, sendo mais intensa no lado Norte do que no lado Sul. A ondulação forte está presente sazonalmen-

te, nas estações do Outono e do Inverno, precedendo e acompanhando os temporais dos quadrantes do Sul e Oeste e também quando há depressões fortes no Atlântico Norte. As ondulações fortes de Sudoeste, Oeste e Noroeste são as mais frequentes, tendo geralmente uma frequência anual de cerca de 20 dias. As ondulações muito fortes de Este, e Sudeste, são muito raras, tendo uma frequência anual de 1 dias. As ondulações moderadas e fracas são as mais frequentes, mas durante os meses de Abril a Setembro predominam as vagas fortes produzidas pela brisa de Nordeste. Estas correntes, geradoras de movimentos marinhos, e derivadas de diversos factores meteorológicos, criam estados de mar variáveis, alguns dos quais bastante prejudiciais à navegação, à pesca e às zonas costeiras.

3.2.5 Salinidade e densidade

A salinidade é definida como a massa (em gramas) de sais dissolvidos por cada litro de água do mar. Este parâmetro pode ser usado, juntamente com a densidade, para determinar a flutuabilidade dos dispositivos de aproveitamento de energia das ondas, dado que a capacidade de flutuação depende directamente da densidade do fluido e da concentração de partículas no mesmo. Relativamente ao Arquipélago da Madeira, a salinidade média da água do mar varia entre 36 g/L e 37 g/L. O valor da densidade permite ainda estabelecer a profundidade na qual uma dada massa de água se encontra em equilíbrio – a água menos densa encontra-se à superfície e a mais densa no fundo. Como este trabalho se centrará em dispositivos de aproveitamento de energia das ondas superficiais, será considerado um valor típico de densidade superficial da água do mar de $1,025 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$.

3.2.6 Temperatura e precipitação

Relativamente à temperatura da água do mar, esta decresce com a profundidade, apresentando um perfil vertical típico, constituído por uma camada superficial de algumas dezenas a centenas de metros de profundidade, onde a temperatura é praticamente constante, designada de *camada turbulenta superficial*. Esta situação de homogeneidade é uma consequência dos fenómenos de turbulência provocados pelo efeito do vento e pelas trocas de calor entre o oceano e a atmosfera. Abaixo desta camada superficial situa-se uma zona em que a temperatura varia rapidamente com a profundidade, designada camada *termoclina*. Quanto à temperatura à superfície da água, esta está dependente das condições meteorológicas que se verificam ao longo do ano, na região do Arquipélago da Madeira. Essas condições são determinadas, em grande parte, pela posição do anticiclone dos Açores e pela circulação da superfície frontal polar, que influencia o estado do tempo nos meses de Inverno (de Novembro a Março). Não obstante, devido à influência da corrente quente do Golfo, a temperatura média da água do mar é relativamente alta e varia regularmente ao longo do ano (cerca de 17°C em Março e 22°C em Agosto). Não existem grandes variações térmicas durante o ano, mantendo o clima ameno com temperaturas médias entre os 15°C e os 23°C, como se vê na figura 3.15.

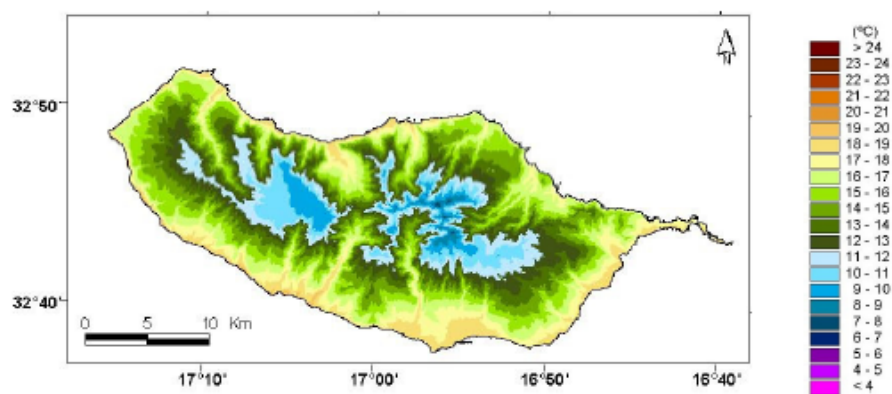


Fig. 3.15: Temperatura média anual entre os anos de 1961 e 1990, segundo dados do Instituto de Meteorologia.

Fonte: Santos e Aguiar, 2006 [30].

Relativamente à precipitação, esta é mais elevada na costa Norte do que na costa Sul e que os valores médios mensais variam substancialmente ao longo do ano, sendo os meses de Outubro a Março os mais chuvosos, como se pode observar na figura 3.16. O mês de Janeiro é o que apresenta o valor médio mensal mais elevado. O regime anual de ventos também é diferente na costa Norte e na costa Sul. Neste sentido, observa-se que na Ponta do Pargo predominam os ventos de Nordeste, no Funchal predominam os de Sudoeste e na Ponta de S. Lourenço é mais habitual o vento de Norte [33].

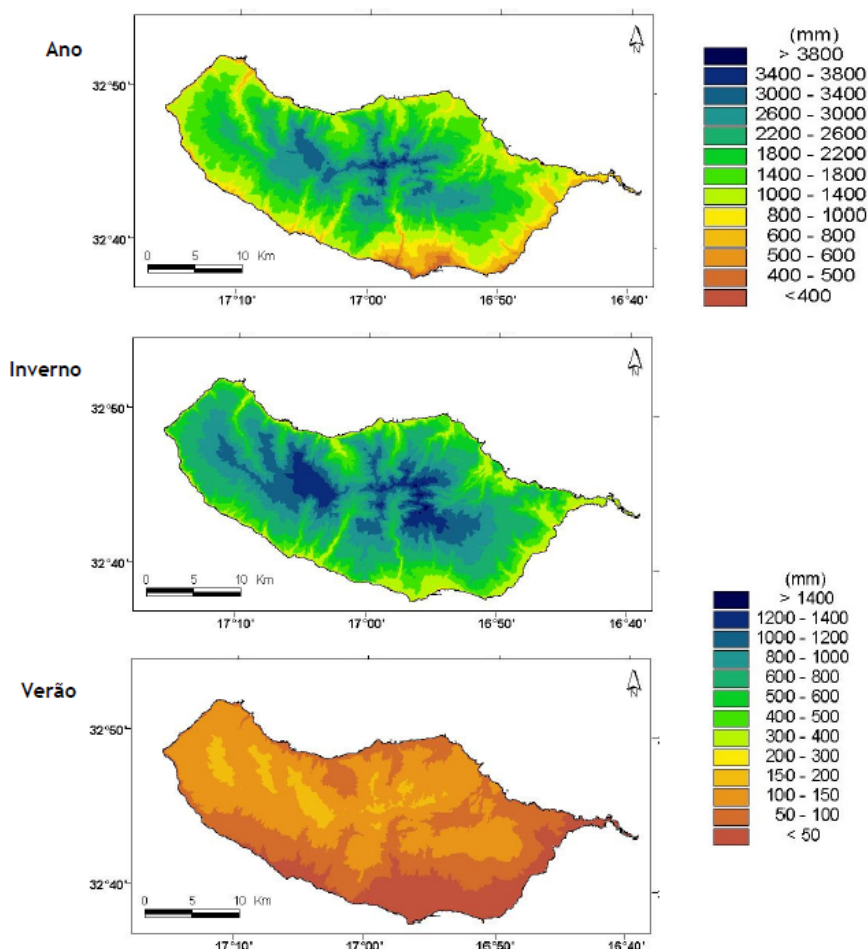


Fig. 3.16: Precipitação média anual e sazonal (Inverno e Verão). Fonte: Santos e Aguiar, 2006 [30].

3.3 Potencial Energético da Costa da R. A. Madeira

A densidade energética, por unidade de área, das ondas é 10 vezes mais alta do que a da energia eólica e 100 vezes mais alta do que a da radiação solar, o que demonstra o inegável potencial energético das ondas oceânicas. Neste âmbito, sendo uma região insular, a Ilha da Madeira apresenta um considerável potencial energético de ondas, que pode (e deve) ser explorado, para benefício da R. A. Madeira, em geral, e das populações locais, em particular. O estudo desse potencial, com vista ao aproveitamento energético das ondas, já foi implementado anteriormente, pela Agência Regional da Energia e Ambiente da Região Autónoma da Madeira (AREAM). Nesse âmbito, a instituição promoveu um projecto de estudo das ondas na Madeira, desenvolvido pelo Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação (INETI), à semelhança de outro já efectuado para Portugal Continental.

O estudo baseou-se na simulação da agitação marítima em 26 pontos em redor da costa da Ilha da Madeira, 7 pontos em redor da costa da Ilha do Porto Santo e um ponto em mar alto, entre as duas ilhas. A selecção desses pontos teve em conta a variação espacial das ondas do mar resultante da batimetria na zona costeira e da exposição da costa à agitação dominante. Os resultados para a agitação marítima foram produzidos pelo modelo matemático MAR3G, para um período de 10 anos (1989 a 1998), usando como dados de entrada os campos de vento à superfície do Atlântico Norte fornecidos pelo ECMWF (European Centre for Medium-range Weather Forecast, Reading, U.K.). A utilização deste modelo deve-se ao facto de apresentar resultados mais precisos, inclusive em situações de tempestade, devido à parametrização da influência do vento [63].

Para obter resultados na zona costeira, o modelo de geração e propagação de ondas, que calcula os espectros direccionais de energia ao largo da costa, é complementado com outro modelo, que calcula a modificação destes espectros desde o largo até à zona costeira em estudo. Este modelo considera o empolamento, refração, dissipação por atrito no fundo e o abrigo pela linha de costa e/ou ilhas vizinhas. A informação apresentada para cada um dos pontos, referidos anteriormente, corresponde a uma profundidade de cerca de 40 m. Para efeitos de validação, os resultados do MAR3G foram comparados com as medidas de altura, período e direcção das ondas do mar efectuadas por bóias-ondógrafo, em quatro locais ao largo da costa de Portugal Continental [20]. As pequenas discrepâncias entre os dois métodos, permitiram verificar o bom desempenho do referido modelo [20]. Após a sua validação, os dados foram estatisticamente compilados em tabelas e gráficos, que se encontram disponíveis para consulta na base de dados ONDATLAS, no sítio da AREAM [63].

Dado o âmbito do presente estudo, considereei adequada a utilização dos dados de agitação marítima fornecidos no ONDATLAS, referentes aos 26 pontos em redor da costa da Ilha da Madeira. Para facilitar a sua observação, os pontos foram divididos por áreas costeiras (tabela 3.1), segundo as localidades que lhes estão mais próximas. As áreas de costa foram definidas a partir do centro geográfico da Ilha da Madeira, segundo os pontos cardeais principais e secundários. A **costa Norte** inclui os pontos de São Vicente e Ponta Delgada. A **costa Nordeste** inclui os pontos da Ponta de São Jorge, Ponta do Clérigo e Faial. A **costa Este** inclui os pontos de Porto da Cruz, Ponta do Espigão Amarelo,

Ilhéu da Branca, Ponta de São Lourenço, Enseada e Caniçal. A **costa Sudeste** inclui os pontos de Machico, Aeroporto e Garajau. A **costa Sul** inclui os pontos do Funchal e Câmara de Lobos. A **costa Sudoeste** inclui os pontos da Ribeira Brava e Ponta do Sol. A **costa Oeste** inclui os pontos da Calheta, Paul do Mar e Ponta do Pargo. A **costa Noroeste** inclui os pontos de Achadas da Cruz, Ponta do Tristão, Porto Moniz, Ponta das Contreiras e Seixal.

Tabela 3.1: Divisão dos 26 pontos de agitação marítima por áreas costeiras geográficas.

Costas	Pontos de Medição da Agitação Marítima					
Norte	São Vicente	Pta. Delgada				
Nordeste	São Jorge	Pta. Clérigo	Faial			
Este	Pto. Cruz	Pta. Esp. Amarelo	Ilhéu Branca	Pta. São Lourenço	Enseada	Caniçal
Sudeste	Machico	Aeroporto	Garajau			
Sul	Funchal	Câmara Lobos				
Sudoeste	Ribeira Brava	Pta. Sol				
Oeste	Calheta	Paul Mar	Pta. Pargo			
Noroeste	Achadas Cruz	Pta. Tristão	Pto. Moniz	Pta. Contreiras	Seixal	

A figura 3.17 mostra a distribuição geográfica dos referidos pontos, ao longo da costa da Ilha da Madeira, de acordo com as respectivas coordenadas geográficas. A tabela A.1 (ver Anexo A) contém as coordenadas geográficas para os referidos pontos, bem como a profundidade considerada para a medição da agitação marítima, em cada um.

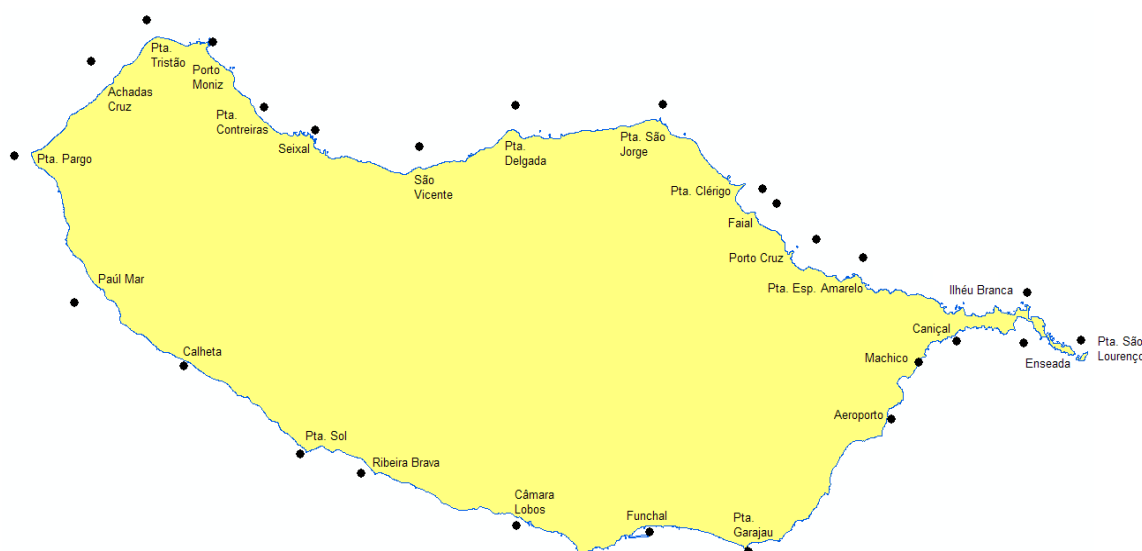


Fig. 3.17: Distribuição geográfica dos pontos de medição da agitação marítima, em redor da costa da ilha da Madeira, segundo as respectivas coordenadas geográficas. Fonte (adaptado): <http://www.iambiente.pt/atlas/> [60].

As tabelas B.1 a B.18 (ver Anexos B) contêm os valores relativos aos diversos parâmetros estudados, para efeito de simulação da agitação marítima, presentes na base de dados ONDATLAS, no sítio da AREAM [62]. Esses valores tabelados foram usados na elaboração das figuras da secção 3.3.1 (fig. 3.18 a 3.23), nas quais se apresenta, graficamente, a variação dos vários parâmetros tabelados,

entre as diversas localidades consideradas. Para os parâmetros da *direcção das ondas* e *direcção da potência das ondas*, usaram-se os seus valores médios anuais (tabelas B.15 e B.17, respectivamente). Para os parâmetros da *altura significativa*, *período de pico*, *período de energia* e *densidade de potência*, usaram-se as médias anuais dos valores de mínimo, moda e máximo (tabelas B.2, B.9, B.6 e B.12, respectivamente). Neste caso, o uso dos valores mínimo, moda e máximo, deve-se ao facto destes permitirem observar, mais facilmente, os extremos de variação dum dado parâmetro, para cada localidade.

3.3.1 Direcção das ondas e da potência das ondas

De acordo com as figuras 3.18 e 3.19, a *direcção média das ondas* e a *direcção da potência das ondas*, em redor do Arquipélago da Madeira, deverá ser semelhante à direcção dos ventos aí dominantes. A este nível, observa-se que, ao longo do ano, as regiões **Norte**, **Nordeste**, **Este** e **Sudoeste** são as que apresentam maior unidireccionalidade da ondulação e respectiva potência energética, ou seja, nestas regiões as ondas não se dispersam tanto em diferentes direcções, apresentando uma direcção predominante, consistente com as setas de circulação atmosférica e das correntes marítimas superficiais existentes junto ao Arquipélago da Madeira. Na selecção correcta da tecnologia a implementar para o aproveitamento da energia das ondas deve ter-se em consideração, necessariamente, a direcção predominante das ondas, pois é crucial que a tecnologia utilizada interaja com o maior número possível de ondas, na direcção em que estas apresentam maior conteúdo energético (potência das ondas). Assim, as referidas regiões, poderão ser mais favoráveis à instalação de dispositivos de aproveitamento direccional da energia das ondas, pois apresentam uma direcção de ondulação predominante. As outras regiões poderão, ainda assim, servir para instalar dispositivos não direccionais.

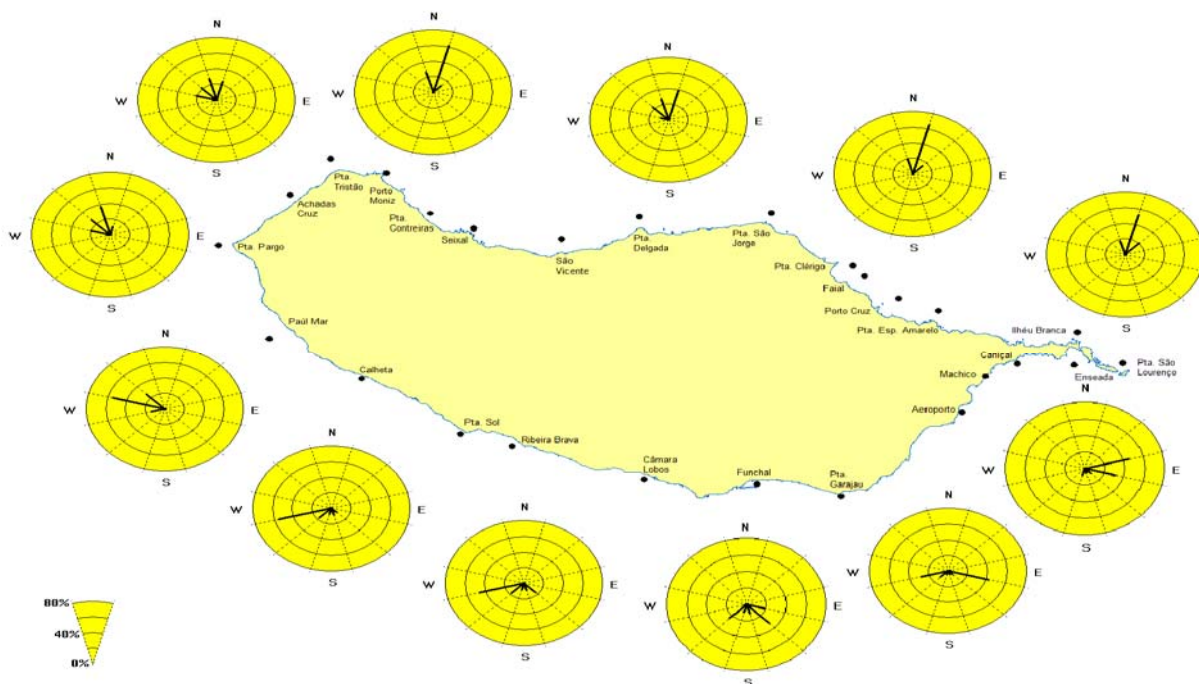


Fig. 3.18: Parâmetro da direcção média anual das ondas. Fonte (adaptado): AREAM, 2008 [62].

Existe uma ligeira variação entre a *direcção da potência das ondas* (fig. 3.19), e a *direcção média das ondas* (fig. 3.18). Tal pode dever-se a efeitos de dispersão da energia das ondas superficiais, por exemplo, devido à interacção das frentes-de-onda com ventos contrários, ou com direcções diferentes da direcção das frentes-de-onda, o que gera uma dispersão da energia destas, relativamente à direcção de propagação do trem-de-ondas. Não obstante, esta variação é relativamente baixa, pelo que pode ser desprezada nesta fase inicial de identificação das regiões para o aproveitamento da energia das ondas, mas não durante as fases posteriores.

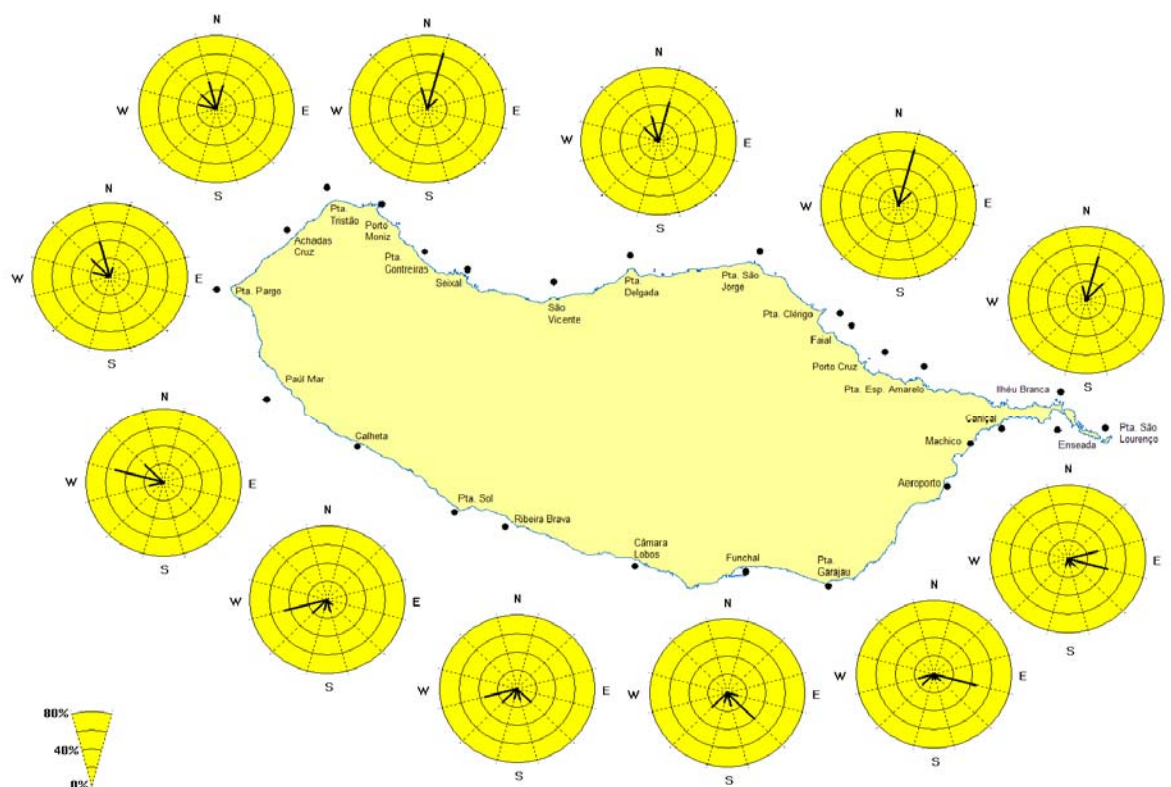


Fig. 3.19: Parâmetro da direcção média anual da potência das ondas. Fonte (adaptado): AREAM, 2008 [62].

3.3.2 Altura significativa

Relativamente à *altura significativa* das ondas (fig. 3.20), cuja relevância e significado foram referidos na secção 3.1.1, as regiões Oeste, Noroeste, Norte, Nordeste e Este são as que apresentam valores mais elevados (ver tabela B.2). Na região Oeste, a localidade com maior altura significativa é a **Ponta do Pargo**. Por sua vez, na região Noroeste, as localidades onde este parâmetro é mais elevado são a **Achadas da Cruz** e a **Ponta do Tristão**. Na zona Norte, a altura significativa é maior na **Ponta Delgada**. Na região Nordeste, destaca-se a localidade da **Ponta de São Jorge**. Por último, na região Este, a localidade de **Ilhéu da Branca** é a que apresenta maior moda e máximo anual de altura significativa. Das localidades referidas, Ponta do Pargo, Achadas da Cruz, Ponta do Tristão, Ponta Delgada e Ponta de São Jorge, são as que apresentam valores de moda e máximo mais interessantes, do ponto de vista do aproveitamento energético.

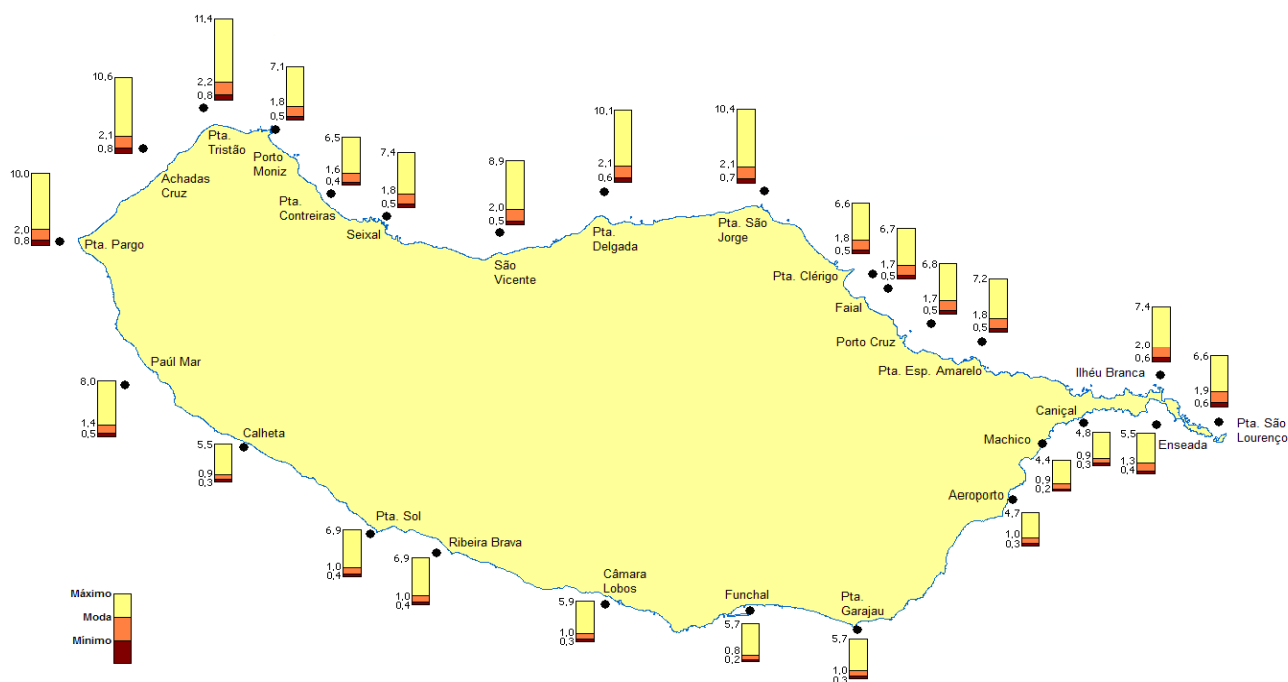


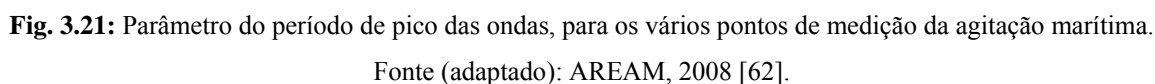
Fig. 3.20: Parâmetro de altura significativa das ondas. para os vários pontos de medição da agitação marítima.

Fonte (adaptado): AREAM, 2008 [62].

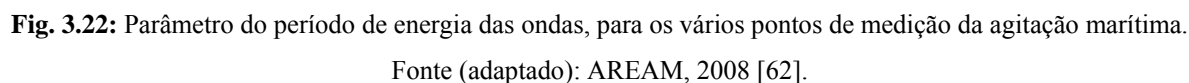
Nessas localidades, a altura significativa das ondas tem um valor mais frequente (moda) entre os 2,0 m e os 2,2 m, e valores máximos entre os 10,0 m e 11,4 m. Os respectivos valores mínimos estão entre os 0,6 m e os 0,8 m. A discrepância notória entre mínimos, modas e máximos, deste parâmetro, deve-se à considerável variação de condições atmosféricas, durante as várias estações do ano (variação sazonal). Este é um factor crucial a ter em consideração na selecção de possíveis zonas piloto, pois a maioria dos dispositivos de aproveitamento de energia das ondas tem um funcionamento optimizado para ondas de amplitude constante, pouco variável e que não excedam valores de altura específicos, segundo a capacidade de resistência dos materiais que compõem os vários dispositivos.

3.3.3 Período de pico

Relativamente ao *período de pico* (fig. 3.21), este parâmetro é de especial importância, pois através dele é possível determinar as regiões onde ocorrem ondas de maior amplitude num menor intervalo de tempo (frequência de ondas altas mais elevada). Este parâmetro é representativo das ondas mais energéticas presentes nos registos. As localidades que apresentam uma moda anual de período de pico mais alta, situam-se a Oeste (**Pta. do Pargo e Paúl do Mar**: 10,2 s), a Noroeste (**Pta. Tristão**: 10,1 s), a Norte (**São Vicente**: 10,1 s), a Nordeste (**Pta São Jorge, Faial e Porto da Cruz**: 9,2 s), a Este (**Enseada**: 10,2 s) e a Sul (**Câmara de Lobos**: 10,6 s).



Relativamente ao *período de energia* (fig. 3.22), este está directamente relacionado com a altura significativa e com o período de movimento das ondas. Numa análise global, e de acordo com a tabela 7.1, observa-se que as localidades com maior conteúdo energético de ondulação se encontram a Oeste (**Ponta do Pargo**: 8,0 s), a Noroeste (**Ponta do Tristão**), a Norte (**Ponta Delgada**: 8,1 s), a Nordeste (**Pta. de São Jorge**: 8,0 s) e a Este (**Ilhéu da Branca**: 7,5 s).



3.3.5 Densidade de potência

Relativamente à *densidade de potência* (fig. 3.23), este parâmetro indica, de forma genérica, o conteúdo energético por metro de altura de onda, sendo, por isso, de extrema importância na determinação da zona adequada para colocação dos dispositivos de aproveitamento de energia das ondas. Neste âmbito, observa-se que as localidades que apresentam maior conteúdo energético, por metro de altura de onda, se encontram a Oeste (**Pta. Pargo**: moda – 16 kW/m, máx. – 669 kW/m), a Noroeste (**Achadas da Cruz**: moda – 19 kW/m, máx. – 763 kW/m; **Pta. Tristão**: moda – 20 kW/m, máx. – 949 kW/m; **S. Vicente**: moda – 16 kW/m, máx. – 489 kW/m), a Norte (**Pta. Delgada**: moda – 17 kW/m, máx. – 780 kW/m) e a Nordeste (**Pta. S. Jorge**: moda – 18 kW/m, máx. – 807 kW/m).

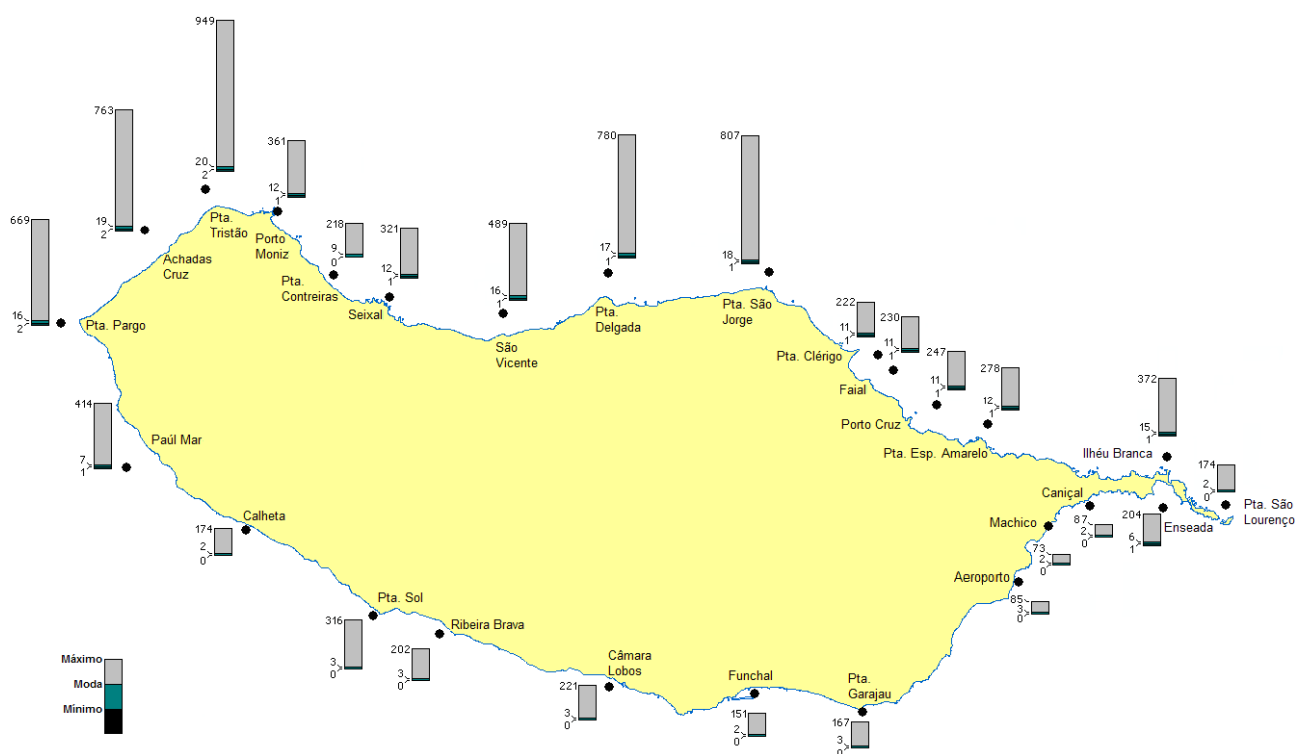


Fig. 3.23: Parâmetro da densidade de potência anual das ondas (KW/m).

Fonte (adaptado): AREAM, 2008 [62].

Os valores e localidades/regiões anteriormente indicados, para os diversos parâmetros considerados, resultam de estatísticas médias anuais estabelecidas para cada parâmetro significativo. Não obstante, existem variações sazonais – expressas pelas diferenças visíveis entre valores máximos e mínimos – que decorrem, naturalmente, da alteração das condições geofísicas, que ocorrem com a mudança das estações do ano. As tabelas B.1 a B.18 contêm os valores tabelados no ONDATLAS para cada mês do ano, bem como as respectivas estatísticas médias anuais. Esta secção serviu somente como apresentação sumária da variação dos diversos parâmetros, entre as diversas localidades e regiões consideradas.

3.4 Bóias-Ondógrafo no Arquipélago da Madeira

Na secção anterior referiu-se que os valores dos diversos parâmetros de agitação marítima foram obtidos a partir de tabelas disponíveis na base de dados do ONDATLAS, no sítio da AREAM [62]. Também foi referido que essas tabelas resultam da aplicação dum modelo de simulação de ondulação (MAR3G), cujos resultados foram validados por comparação com dados reais de bóias-ondógrafo situadas em quatro locais ao largo da costa de Portugal Continental. Também existem bóias-ondógrafo na R. A. da Madeira. No entanto, devido ao seu número reduzido (apenas 2 em todo o perímetro da costa insular), e devido ao facto de uma delas se encontrar actualmente inactiva, por motivos técnicos, não foi possível usá-las para a validação estatística do modelo. Não obstante, dado o objectivo deste trabalho, considera-se importante comparar os dados apresentados na secção anterior com os valores reais obtidos pelas bóias-ondógrafo, nas áreas onde se encontram fundeadas. As referidas bóias-ondógrafo encontram-se posicionadas perto das localidades do Funchal e Caniçal, como se pode observar na figura 3.24.

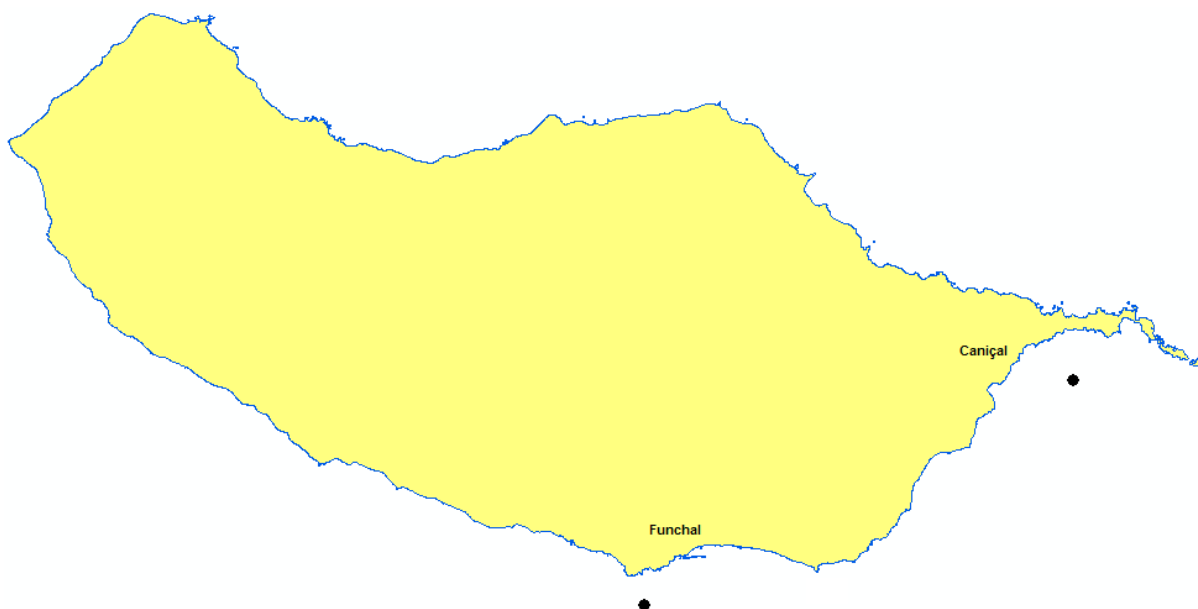


Fig. 3.24: Localização das bóias-ondógrafo na costa da Madeira, segundo as coordenadas geográficas.

Fonte (adaptado): <http://www.iambiente.pt/atlas/> [60].

As bóias-ondógrafo utilizadas são do tipo Datawell, equipadas com sistema GPS, para controlo da posição da bóia, e com sensores que medem a aceleração vertical do movimento da superfície livre do mar, fornecendo dados sobre a altura e o período das ondas. Incluem ainda sensores que permitem medir a direcção de propagação das ondas e a temperatura da água à superfície. Os dados adquiridos são transmitidos para uma estação receptora via rádio e, daí, para a sede do Instituto Hidrográfico, onde são posteriormente sujeitos a um controlo de qualidade mais elaborado, processados e armazenados numa base de dados. Actualmente a aquisição dos dados é efectuada com um intervalo de digitalização inferior ao segundo e a sua gravação é efectuada de duas formas: em séries temporais com duração de 10 minutos (processamento em tempo real), e em séries temporais com duração de 30

minutos (processamento posterior). As séries temporais adquiridas são constituídas por deslocamentos verticais (elevações) e deslocamentos horizontais, nos sentidos Norte-Sul e Este-Oeste. Após a aquisição e a validação, as séries temporais são objecto dum processamento padronizado, que visa a estimativa dos parâmetros característicos da agitação marítima, em período e em frequência. Em cada registo, são estimados, entre outros, os seguintes parâmetros: altura significativa, altura máxima, período médio, período máximo, período de pico, direcção média e temperatura da água à superfície. Neste momento, apenas a bóia do Funchal se encontra em funcionamento. Não obstante, como existem dados da bóia do Caniçal até Maio de 2009, a comparação com os dados da secção anterior será efectuada para estas duas localidades. Esta comparação deverá permitir, de alguma forma, perceber a fiabilidade do modelo MAR3G, usado na simulação dos dados do ONDATLAS para a Madeira.

3.4.1 Bóia-ondógrafo do Funchal

A figura 3.25 demonstra os valores reais de altura significativa da ondulação, medidos na região do Funchal, no decénio 1999 – 2009. Comparando com os valores médio e máximo anual do mesmo parâmetro, estimados para a localidade do Funchal (fig. 3.20), observa-se uma ligeira discrepância do máximo (estimado em 5,7 m) e uma certa concordância do valor médio, em torno de 1 metro de altura (estimado em 0,8 m).

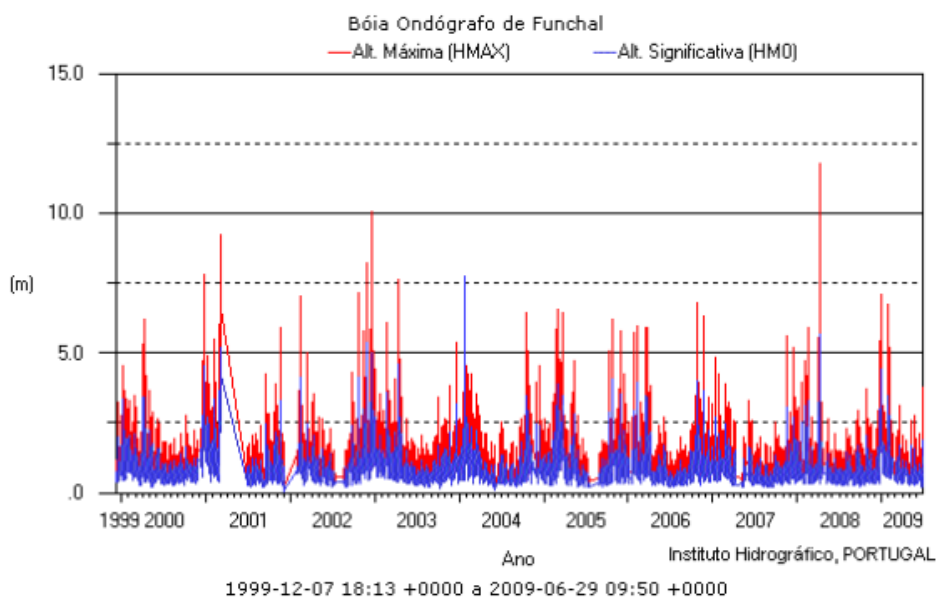


Fig. 3.25: Altura significativa das ondas medidas pela bóia-ondógrafo do Funchal.

Fonte: Instituto Hidrográfico, 2009 [65].

A figura 3.26 demonstra os valores reais de direcção média da ondulação (0° indicam a direcção Norte). Comparando com a direcção média anual do mesmo parâmetro (fig. 3.18), observa-se uma certa discrepância entre eles. Os valores reais apresentam uma amplitude direccional mais ampla do que os valores estimados indicam, havendo no entanto uma concordância quanto aos quadrantes em que essa variação da direcção ocorre.

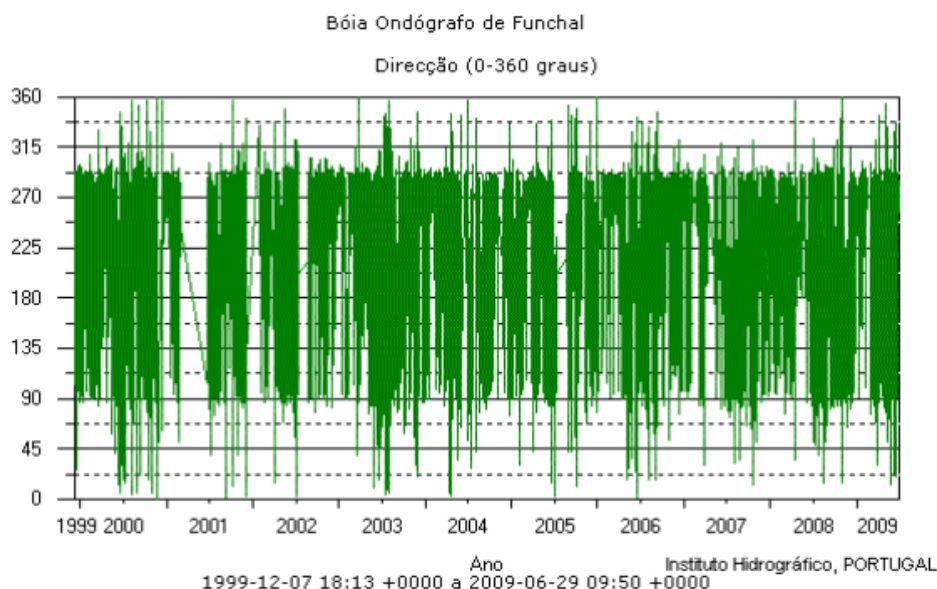


Fig. 3.26: Direcção média das ondas medidas pela bóia-ondógrafo do Funchal.

Fonte: Instituto Hidrográfico, 2009 [65].

A figura 3.27 apresenta os valores dos períodos médios (de energia) e máximo (de pico) da ondulação. Comparando com os valores médios anuais estimados para os mesmos parâmetros (fig. 3.22 e 3.21), observa-se uma concordância entre eles. Os valores reais do período médio de energia (T_{02}) situam-se entre os 5 e os 14 s, como estimado. Já os valores reais do período de pico (T_{max}) situam-se entre os 7 e os 28 s, com o valor mais baixo a concordar com o estimado, e o valor mais alto a exceder o máximo estimado. Não obstante, a média do período de pico encontra-se dentro da gama de valores esperada.

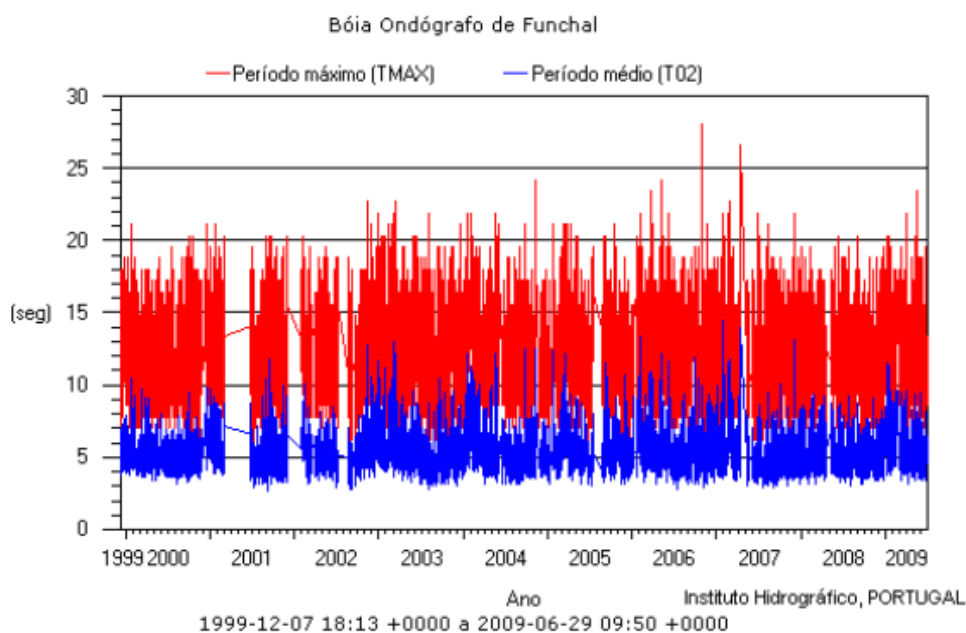


Fig. 3.27: Período médio e máximo das ondas medidas pela bóia-ondógrafo do Funchal.

Fonte: Instituto Hidrográfico, 2009 [65].

3.4.2 Bóia-ondógrafo do Caniçal

A figura 3.28 demonstra os valores reais de altura significativa da ondulação, medidos na região do Caniçal, entre 2002 e 2009. Comparando com os valores médio e máximo anual do mesmo parâmetro estimados (fig. 3.20), observa-se a concordância do máximo, em torno de 5 m (estimado em 4,8 m) e do valor médio, em torno de 1 metro de altura (estimado em 0,9 m). Assim, relativamente a este parâmetro, e observando a comparação já efectuada para a localidade do Funchal, tal poderá indicar que o modelo MAR3G consegue simular com relativa conveniência a altura significativa média da ondulação, devendo, no entanto, ser usado com cautela quanto à estimativa do valor da altura significativa máxima.

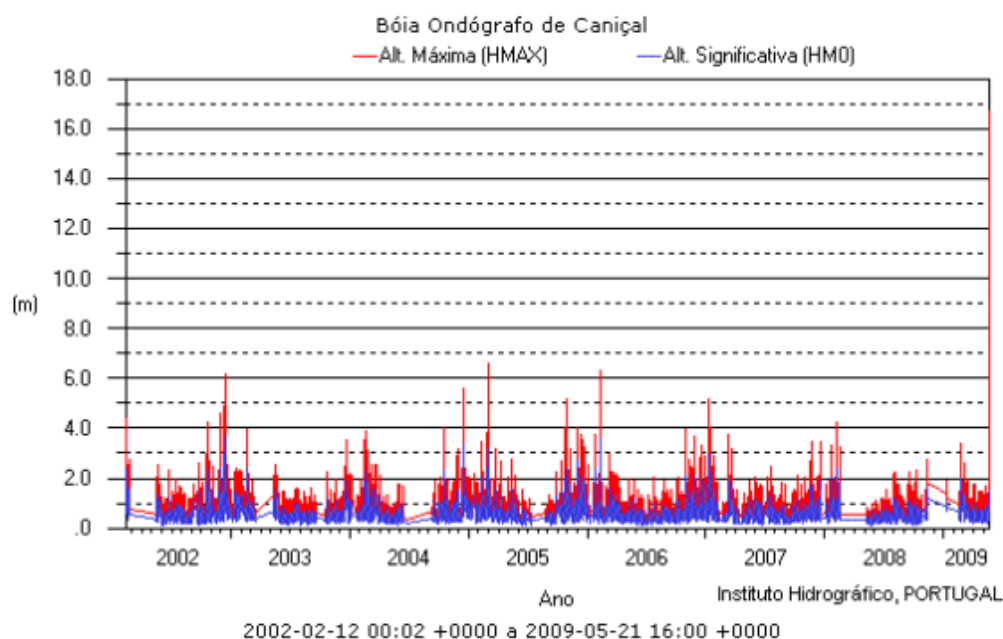


Fig. 3.28: Altura significativa das ondas medidas pela bóia-ondógrafo do Caniçal.

Fonte: Instituto Hidrográfico, 2009 [65].

A figura 3.29 mostra os valores reais de direcção média da ondulação (0° indicam a direcção Norte). Comparando com a direcção média anual do mesmo parâmetro (fig. 3.18), e tal como no caso da bóia-ondógrafo do Funchal, os valores reais apresentam uma amplitude direccional mais ampla do que os valores estimados, continuando a haver concordância relativamente aos quadrantes em que a variação da direcção ocorre. Isto poderá ser um indicador de que o modelo MAR3G consegue simular convenientemente os quadrantes de maior probabilidade de ocorrência de ondulação, não sendo, no entanto, suficientemente preciso para indicar uma direcção exacta para essa ocorrência, pois esta dependerá de inúmeros factores geofísicos, como por exemplo a ocorrência de ventos contrários e perpendiculares.

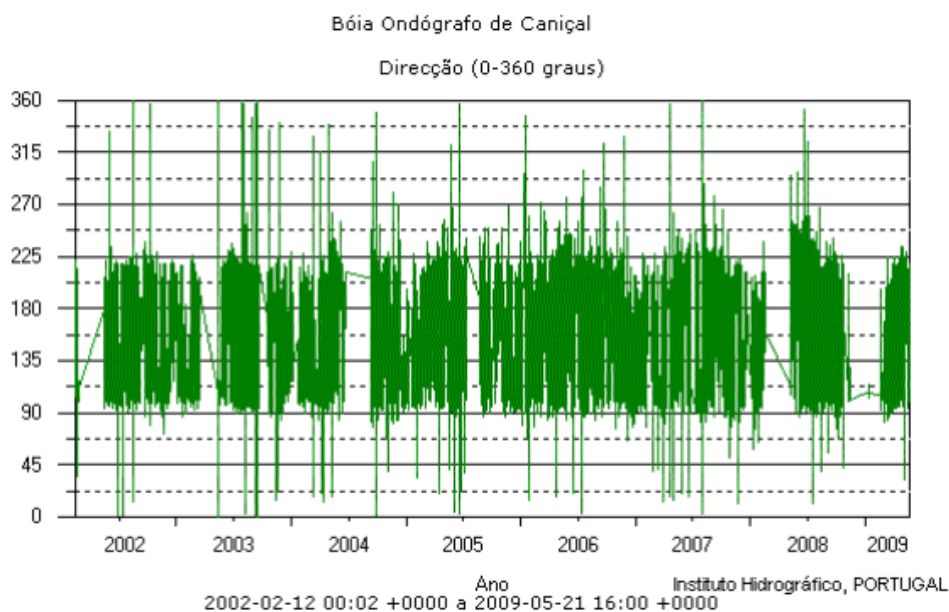


Fig. 3.29: Direção média das ondas medidas pela bóia-ondógrafo do Caniçal.

Fonte: Instituto Hidrográfico, 2009 [65].

A figura 3.30 apresenta os valores dos períodos médio (de energia) e máximo (de pico) da ondulação. Comparando-os com os valores médios anuais estimados para os mesmos parâmetros (fig. 3.22 e 3.21), observa-se uma certa concordância entre eles. Os valores reais do período médio de energia (T_{02}) situam-se entre os 3 e os 13 s, sendo semelhantes aos valores estimados (entre 5,5 e 11,4 s). Já os valores reais do período de pico (T_{max}) situam-se entre os 8 e os 25 s, concordando com o intervalo estimado (entre 8,9 e 25,0 s). Não obstante, a média do período de pico encontra-se dentro da gama de valores esperada.

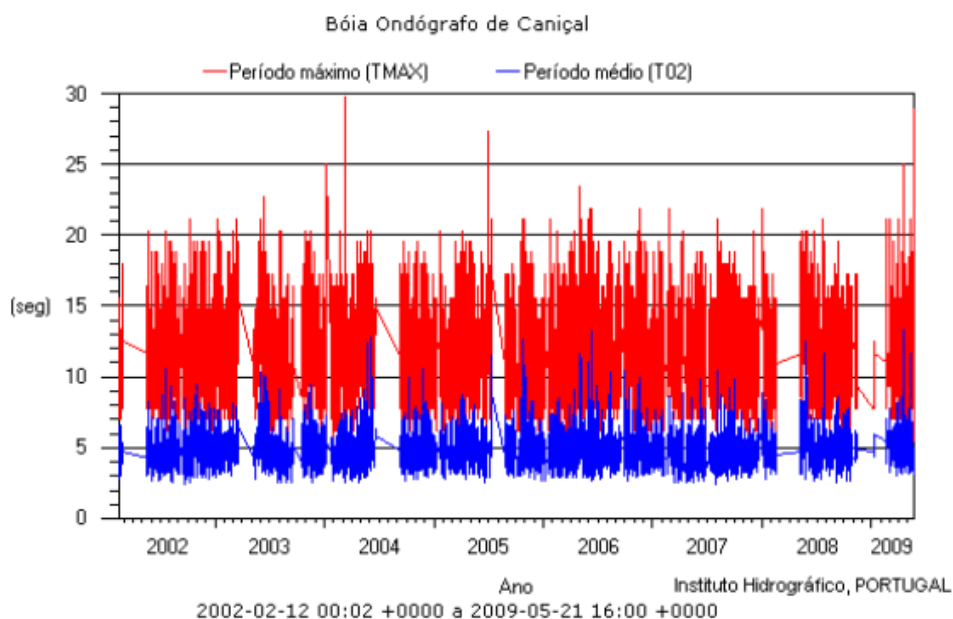


Fig. 3.30: Período médio e máximo das ondas medidas pela bóia-ondógrafo do Caniçal.

Fonte: Instituto Hidrográfico, 2009 [65].

Também para este parâmetro, e dada a comparação já efectuada para a localidade do Funchal, tal poderá indicar que o modelo MAR3G consegue simular com uma certa exactidão os períodos médios de energia e de pico da ondulação. Assim, no cômputo geral dos parâmetros analisados nesta secção, para ambas as bóias, as comparações parecem sugerir uma relativa fiabilidade do modelo MAR3G nos parâmetros mais significativos da agitação marítima. No entanto, no domínio da direcção da ondulação parece haver indícios para uma certa imprecisão na determinação da direcção mais provável, que se poderão ficar a dever a limitações dos algoritmos de simulação, relativamente às condicionantes reais. Não obstante, o modelo parece conseguir prever correctamente os quadrantes onde a direcção da ondulação pode variar, o que já representa uma mais-valia, por si só.

Apesar das indicações anteriores poderem apontar, de certa forma, algumas limitações e vantagens do modelo MAR3G, é necessário referir que as comparações efectuadas nesta secção não têm qualquer valor estatístico, ou de outro modo quantitativo, apresentando um teor meramente qualitativo, dado o escasso número de bóias-ondógrafo em redor da Ilha da Madeira. Não obstante, e como já foi referido, considerou-se necessário fazer um confronto entre os dados reais e os valores simulados, para que, de alguma forma, se justificasse o uso dos dados do ONDATLAS, que servem de base para este trabalho.

4. TECNOLOGIAS DE ENERGIA DAS ONDAS

A investigação intensiva sobre energia das ondas começou na década de 1970, quando a crise do petróleo desencadeou um interesse crescente pelas energias renováveis. Durante esse período, foram desenvolvidos e propostos vários dispositivos de energia das ondas, mas, de um modo geral, o sucesso esteve abaixo das expectativas. Em muitos casos, subestimou-se grandemente o poder destrutivo das ondas oceânicas e, por outro lado, os dispositivos de conversão de energia das ondas nem sempre mostraram resultados satisfatórios. A partir de meados da década de 1980, os aperfeiçoamentos tecnológicos permitiram a instalação de protótipos de dispositivos na linha costeira [61]. Não obstante, a evolução das tecnologias permaneceu lenta até ao início do séc. XXI. Desde então, as energias renováveis tiveram um novo impulso. De facto, o interesse pela energia das ondas ressurgiu a partir do ano 2000, como consequência do aumento da produção energética a partir de energias renováveis, em toda a Europa. Actualmente, prevê-se a implementação de alguns parques de ondas em diversas zonas costeiras europeias, incluindo Portugal Continental e Arquipélagos.

4.1 Ciclo de Vida da Tecnologia

A implementação de tecnologias de aproveitamento da energia das ondas engloba quatro fases. Em conjunto, estas definem o *ciclo de vida* das referidas tecnologias. Estas fases definem-se da seguinte forma: **a)** concepção e planeamento, **b)** construção e instalação, **c)** funcionamento e gestão, **d)** desmantelamento. Estas fases serão analisadas nas subsecções seguintes.

4.1.1 Concepção e planeamento

O funcionamento de alguns protótipos conduziu a um princípio básico de concepção: considerar em primeiro lugar a sobrevivência do sistema e, posteriormente, a capacidade de captação energética. Para os dispositivos de energia das ondas a sobrevivência é o principal desafio, mais do que a fiabilidade funcional [61]. Geralmente, estes dispositivos situam-se em regiões de grande agitação marítima, que estão normalmente relacionadas com estados de mar violentos, tornando este factor de uma grande importância a ter em conta na fase de concepção. Dada a actual inexistência de protocolos de construção de dispositivos claros e fiáveis, que respondam às mudanças bruscas do ambiente marinho, isso torna difícil o desenvolvimento de projectos com um planeamento de segurança adequado. A este nível, no passado, quase todos os casos de fracasso se deveram a problemas imprevistos relacionados com o processo de construção, ou com a estabilidade da estrutura em condições extremas, e não com falhas no método de extracção de energia. Como tal, certas entidades certificadoras estão a trabalhar em propostas de orientações comuns para a fase de concepção. No entanto, a diversidade de sistemas torna esse trabalho complexo e, por vezes, só possível de se orientar por um modelo genérico.

4.1.2 Construção e instalação

Tendo em conta as características dos locais de instalação, as tecnologias de energias das ondas são frequentemente divididas em dispositivos de linha costeira (costeiros), perto da costa e afastados da costa (ao largo). Actualmente, a maioria dessas tecnologias encontra-se ainda em fase de protótipo, ou de desenvolvimento, como se pode observar na tabela 4.1. Espera-se que a implementação em larga escala das tecnologias ocorra durante a fase de instalação, ao largo, de dispositivos submersos ou flutuantes em profundidades entre os 50 m e os 100 m (incluindo o sistema de ancoragem), como sucede actualmente com o dispositivo Pelamis.

Tabela 4.1: Principais tecnologias existentes. Fonte: Barros, 2009 [1].

FASE TECNOLÓGICA	EQUIPAMENTO	PROMOTOR	LOCAL DO PROJECTO
Comercial	Pelamis	Ocean Power Delivery	Aguçadoura – Póvoa Varzim, Portugal (afastado da costa)
Pré -Comercial	PowerBuoy (150 KW)	OPT	Santoña – Espanha (afastado da costa)
	OWC	WaveGen	Mutriky – Região Basca, Espanha (perto da costa)
	AWS	AWS Ocean Energy Ltd (procura de investidores)	(afastado da costa e submergido)
Demonstração	(OWC)	Wave Energy Centre	Central do Pico – Açores, Portugal (linha da costa)
	Wave Dragon	Wave Dragon Aps	País de Gales, Inglaterra (perto e afastado da costa)
	Power Vessel	Sea Power International AB	Ilha Hébridas (perto e afastado da costa)
	Wave Roller	AW-Energy OY	EMEC – Portugal (perto e afastado da costa)
Protótipo	AquaBuOY	Aquaenergy	(afastado da costa)
	OWC	Energetech	(afastado da costa)
	Seadog	INRI	(perto da costa)
	MRC 1000	OreCON	(perto e afastado da costa)
	Wave Star	Wave Star Energy Aps	(perto e afastado da costa)
	Water Pump	Waveberg	(perto da costa)
	Wavebob	WaveBob Ltd	(afastado da costa)
	Sperboy	Embley Energy Ltd	(perto e afastado da costa)
Desenvolvimento	Searev	Ecole Centrale de Nantes	(afastado da costa)
	OWEC	Ocean Wave Energy Company	(afastado da costa)
	Pisys	Pipo Systems	(afastado da costa)
	Hydroflot	Ceflot	(afastado da costa)
	Boya Arlas	Consorcio espanhol	(afastado da costa)
	Flow	Martifer	(afastado da costa)
	Wave Rotor	EcoFys BV	(afastado da costa)

Nessa fase, esses dispositivos serão agrupados em parques de ondas, com dimensões e configurações específicas adequadas ao tipo de tecnologias usadas. Apesar de a batimetria típica de 50 m ser a zona alvo preferencial, por conveniência operacional (comprimento dos cabos submarinos e despesas de sistemas de ancoragem), espera-se que as áreas de implementação se estendam brevemente até aos 100m de batimetria. Normalmente, os sistemas de ancoragem são adaptáveis às condições do fundo do mar. Para fundos arenosos e argilosos, as âncoras de sucção podem ser uma opção favorável. Em fundos rochosos, os trabalhos de preparação no local podem ser caros e poderá haver necessidade de perfuração subaquática. Os dispositivos de energia das ondas ao largo deverão utilizar mais frequentemente ancoragem flexível, permitindo que o dispositivo se oriente em direcção às ondas e que ceda em ondas extremas, de modo a reduzir os picos de carga nos sistemas de ancoragem.

Os dispositivos submersos requerem um nível inferior (sapata) de areia, cascalho ou lama. Os dispositivos perto da costa requerem um fundo com pouca cobertura de rocha, adequado à colocação de cabos de transporte de energia para a superfície. Os dispositivos perto da costa poderão ser instalados e montados até 20m de profundidade, podendo ser sujeitos a ondas altas (até 20m). O processo de instalação necessitará dum período meteorológico favorável, com ondulação fraca. A experiência demonstrou a importância deste aspecto e a importância de encontrar métodos rápidos, eficientes e fortes de ligação dos dispositivos aos sistemas de ancoragem, que são instalados separadamente, como no caso do AWS e do Pelamis. Geralmente, usam-se rebocadores adequados à instalação, não sendo necessários guindastes, ou outras infra-estruturas especiais, para navegação em mar alto [61].

4.1.3 Funcionamento e gestão

A fase de funcionamento e gestão do parque de ondas é, porventura a mais crítica do ciclo de vida das tecnologias, dado que é durante esta fase que ocorrerá a exploração comercial dos dispositivos – onde estes demonstrarão, na prática, a sua relação custo/benefício, comparativamente a outras soluções tecnológicas. Por um lado, é provável que haja necessidade de manutenção periódica dos dispositivos, havendo necessidade de os retirar do sistema de ancoragem para que sejam feitas reparações e vistorias. Neste caso, a manutenção terá como alvos, preferenciais, os equipamentos mecânicos, eléctricos e estruturais. Por outro lado, a ligação à rede e as instalações periféricas também necessitarão de manutenção periódica. As operações de manutenção mais reduzidas poderão ser feitas no local, em barcos, veículos orientados por controlo remoto, ou pequenas embarcações especiais atracadas às centrais em águas calmas.

Relativamente aos dispositivos costeiros, a construção de câmaras modulares, poderá melhorar a sua estabilidade e rentabilidade, permitindo o deslocamento dos módulos para manutenção, sem necessidade de intervenção em toda a estrutura, só tornando necessários trabalhos no local para a preparação do fundo do mar e na fase final da construção. Espera-se que os intervalos de manutenção sejam semelhantes aos dos dispositivos ao largo, mas com questões de acessibilidade menos críticas, permitindo que os dispositivos instalados em terra constituam soluções intermédias adequadas à fase

inicial do desenvolvimento da tecnologia. Nas tecnologias ao largo, os meios e procedimentos utilizados poderão envolver custos mais elevados, razão pela qual a baixa rentabilidade imediata das centrais de energia das ondas necessitará de novas abordagens e equipamentos, para se tornar mais competitiva a longo prazo [61]. A este nível, o desenvolvimento, em paralelo, da tecnologia eólica ao largo poderá ter algumas implicações nos procedimentos de funcionamento e manutenção no sector das ondas. Embora as condições de funcionamento e as questões de manutenção não sejam idênticas, a eólica ao largo enfrenta as mesmas exigências de aperfeiçoamentos neste campo.

4.1.4 Desmantelamento

Em geral, os dispositivos de energia das ondas são concebidos para um período útil de 20 anos, para garantir a viabilidade económica e estrutural das instalações. Não obstante, as centrais piloto e os protótipos em fases iniciais podem ter uma duração significativamente mais curta, variando entre alguns meses e 3 a 5 anos [61]. Esta estratégia permite testar, em primeiro lugar, o conceito de conversão de energia. Dependendo do dispositivo e dos respectivos componentes de conversão energética, podem ser necessárias reparações anuais extensas, implicando a remoção frequente dos dispositivos do seu sistema de ancoragem e o seu transporte para o porto mais próximo.

Para a maioria dos dispositivos ao largo, essa estratégia de remoção não levanta problemas, permitindo que sejam retirados dos sistemas de ancoragem sem grande esforço e, posteriormente, rebocados para terra. Desta forma, a concepção de sistemas de ancoragem eficazes é crucial. Estes devem ser concebidos para períodos de vida mais alargados, pois, dependendo da sua concepção (por exemplo, base gravitacional de betão, âncora de gancho, balde ou âncora de sucção), estes podem necessitar dum esforço considerável para a sua remoção, ou mesmo ser considerados não recuperáveis [61]. Neste último caso, os parques de maior capacidade energética, compostos por algumas dezenas ou centenas de dispositivos, poderiam causar um impacto ambiental considerável, negando assim o objectivo primordial para a sua utilização, o da obtenção de energia alternativa com o mínimo de impacto ambiental. Deste modo, a concepção de sistemas de ancoragem removíveis deve ser uma parte fulcral do desenvolvimento dos dispositivos actuais e futuros.

4.2 Soluções Tecnológicas

Existem vários modelos desenvolvidos pelos investigadores para aproveitamento da energia das ondas. Os dispositivos de ondas podem ser categorizados segundo os seguintes critérios: a localização e a profundidade para as quais estão desenhados (na linha costeira, perto da costa, ou afastados da costa); os métodos que são utilizados para captar a energia das ondas. Nesta secção os dispositivos serão classificados de acordo com este último critério.

4.2.1 Atenuador

Este dispositivo flutuante longo é alinhado perpendicularmente à frente-de-onda e situa-se, geralmente, perto da costa, ou ao largo. O dispositivo flutua efectivamente sobre as ondas e capta a energia quando as ondas o atravessam, devido ao movimento progressivo que estas provocam ao longo do seu comprimento [61]. Dentro desta categoria encontram-se dispositivos como o Pelamis (em fase comercial), o McCabe Wave Pump (projecto descontinuado) e o Cockerel Raft (projecto descontinuado). A figura 4.1 representa o modelo dum dispositivo atenuador.

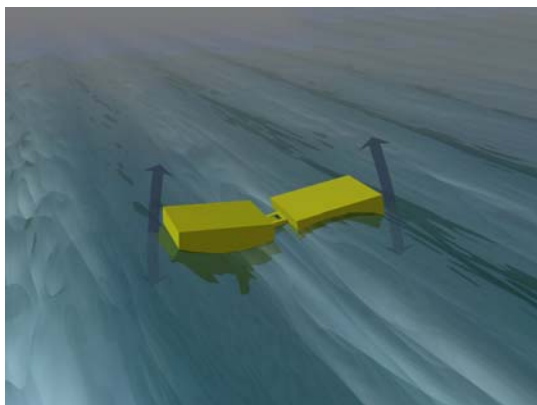


Fig. 4.1: Modelo representativo dum dispositivo do tipo atenuador. Fonte: www.aquaret.com.

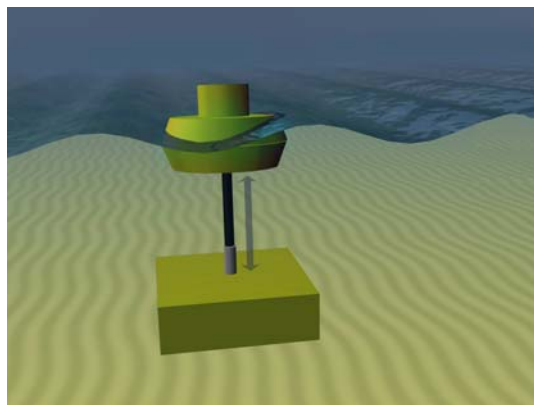


Fig. 4.2: Modelo representativo dum pequeno sistema oscilante com simetria axial. Fonte: www.aquaret.com.

4.2.2 Pequeno sistema oscilante com simetria axial

A figura 4.2 representa o modelo dum pequeno sistema oscilante com simetria axial. Este dispositivo flutuante é uma estrutura que absorve a energia das ondas em todas as direcções, devido à força dos movimentos das ondas na superfície da água, ou perto dela, e situa-se perto da costa, ou ao largo. Este sistema oscilante, tendencialmente com poucos metros de diâmetro, é de pequenas dimensões comparado com o comprimento de onda típico. A sua característica de absorção pontual tem como consequência a capacidade de absorver energia duma área de mar superior às dimensões do dispositivo. Este efeito é conhecido como *efeito antena*, por analogia com o mesmo efeito nas ondas de rádio. Os pequenos sistemas oscilantes englobam os modelos de tipo bóia, que, em geral, possuem simetria axial. Dentro desta categoria encontram-se dispositivos como o Wavebob, o OPT Power-Buoy, o Aquabuoy e o SeaREV. Este último é um pequeno sistema oscilante de simetria não axial, mas com características muito semelhantes aos dispositivos com simetria axial [61].

4.2.3 Conversor oscilante de translação das ondas

Este dispositivo é um colector instalado perto da superfície, montado sobre um braço colocado num eixo perto do fundo do mar, e pode situar-se perto da costa. O braço oscila como um pêndulo invertido, devido ao movimento ondulatório das partículas da água. Dentro desta categoria encontram-

se dispositivos como o Waveroller (completamente submerso), o Oyster, (parcialmente submerso), e o Pêndulo Japonês. Este último dispositivo, mais antiquado, tinha uma placa articulada junto à superfície livre, inserida na estrutura da câmara, com movimento pendular [61]. A figura 4.3 representa o modelo dum conversor oscilante de translação das ondas.

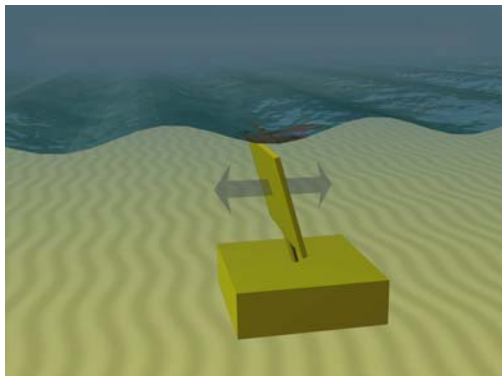


Fig. 4.3: Modelo representativo dum conversor oscilante de translação das ondas. Fonte: www.aquaret.com.

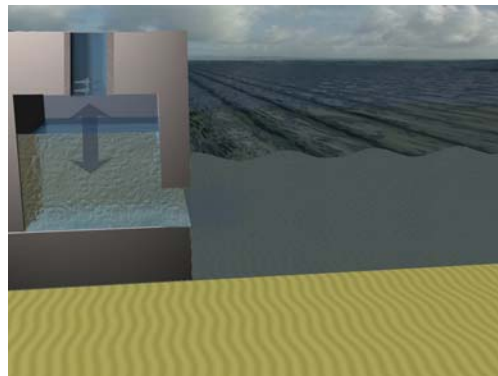


Fig. 4.4: Modelo representativo duma coluna de água oscilante. Fonte: www.aquaret.com.

4.2.4 Coluna de água oscilante

A figura 4.4 representa o modelo duma coluna de água oscilante. Esta estrutura é parcialmente submersa, oca, com abertura para o mar abaixo da superfície da água, de forma que o ar contido no seu interior seja comprimido pela coluna de água. As ondas provocam a subida e descida da coluna e funcionam como um pistão, comprimindo e descomprimindo o ar. Este ar é conduzido através duma turbina de ar para produzir energia. Se forem concebidas correctamente para o estado de mar dominante, podem ser sintonizadas com o período de onda incidente para causar ressonância. Como consequência, este tipo de dispositivos pode ser muito eficiente, podendo ainda ter características de absorção pontual [61]. Os dispositivos mais comuns são construídos directamente na linha costeira (Pico, Limpet), ou integradas em quebra-mares (Mutriko). Dentro desta categoria encontram-se dispositivos como o Sperboy, o MRC e o OE Buoy.

4.2.5 Dispositivo de galgamento

Este dispositivo consiste numa rampa que é galgada pelas ondas e num reservatório de armazenamento que recolhe a água das ondas. As ondas que entram no reservatório criam uma altura de água que é devolvida ao mar, através de turbinas convencionais de baixa queda, instaladas no fundo do reservatório. Um dispositivo de galgamento pode utilizar colectores para concentrar a energia das ondas. Geralmente, estes dispositivos são estruturas de grandes dimensões, em consequência do espaço necessário para o reservatório, com uma capacidade mínima de armazenamento. Os dispositivos podem ser flutuantes (perto da costa, ou ao largo), ou fixos a estruturas em terra (quebra-mares) [61]. Dentro desta categoria encontram-se dispositivos como o Wave Dragon, (o maior conversor flutuante

de energia, actualmente em desenvolvimento), o Sea Wave Slot Cone Generator (em funcionamento num quebra-mar) e o TAPChan (projecto descontinuado). Este último dispositivo, montado em Toftestallen, na Noruega, era constituído por um canal afunilado, que provocava o galgamento das ondas para um reservatório em terra. A figura 4.5 representa o modelo dum dispositivo de galgamento de ondas.

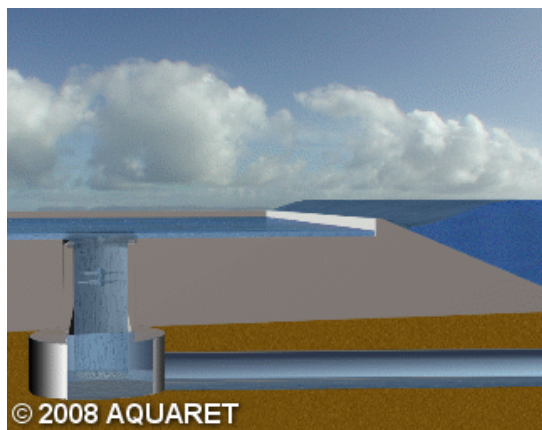


Fig. 4.5: Modelo representativo dum dispositivo de galgamento de ondas. Fonte: www.aquaret.com.

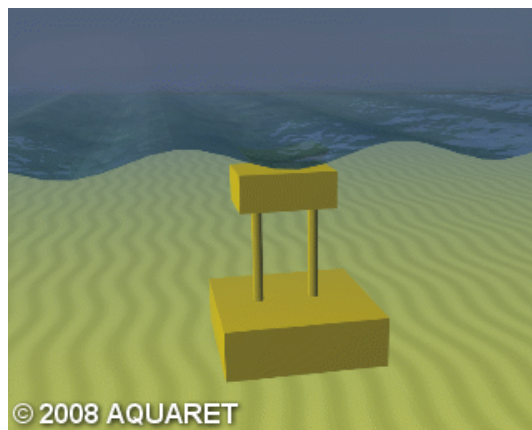


Fig. 4.6: Modelo representativo de dispositivo submerso de diferença de pressão. Fonte: www.aquaret.com.

4.2.6 Dispositivo submerso de diferença de pressão

A figura 4.6 representa o modelo dum dispositivo submerso de diferença de pressão. Este é um dispositivo submerso, normalmente instalado perto da costa e apoiado no fundo do mar. O movimento das ondas provoca a subida e descida do nível da água acima do dispositivo, induzindo uma diferença de pressão que provoca a subida e descida do dispositivo, consoante as ondas. Se for concebido correctamente para o estado de mar, este dispositivo também pode apresentar características significativas de absorção pontual. Dentro desta categoria encontram-se dispositivos como o Archimedes Wave Swing (com absorção pontual) e o Waverotor [61].

4.2.7 Mecanismos de conversão de energia

As categorias de dispositivos mencionadas nas subsecções anteriores podem ser incorporadas com diversos mecanismos de conversão de energia. Actualmente, existem quatro tipos desses mecanismos adequados aos dispositivos de energia das ondas, nomeadamente a turbina de água, a turbina de ar, o gerador hidráulico e o gerador linear [61]. Nos motores hidráulicos, a energia das ondas é convertida em energia eléctrica através do movimento relativo de fluidos conduzidos a alta pressão. Nas turbinas, a conversão de energia é efectuada através da variação de pressão (dispositivos de coluna de água oscilante), ou da acumulação de energia potencial (dispositivos de galgamento). No caso dos dispositivos atenuadores, como o Pelamis, a conversão de energia é feita por geradores hidráulicos. Actualmente, prevê-se que esse tipo de dispositivos seja o que mais contribua para a produção de

energia das ondas no futuro próximo. Contudo, a longo prazo, outros mecanismos poderão igualmente ganhar relevância.

4.3 Caracterização dos Locais de Instalação

As condições físicas relevantes para a conversão de energia das ondas, como sejam a profundidade da água, o nível de energia, a direcção e a hidrodinâmica, variam com a distância à costa. Deste modo, convém caracterizar os diferentes tipos de locais de instalação, de acordo com a sua capacidade energética e características ambientais. Nesta secção, as condições de instalação dos dispositivos serão abordadas de acordo com a sua proximidade à orla costeira.

4.3.1 Tecnologias costeiras e perto da costa

Consideram-se como tecnologias costeiras aquelas que se situam na orla costeira. Consideram-se como tecnologias perto da costa aquelas que se encontram entre as linhas batimétricas dos 15 e dos 20 m. De uma forma geral, os dispositivos costeiros estão integrados na linha costeira, ou numa estrutura artificial de defesa costeira, apresentando, por isso, níveis de energia incidente mais baixos, mas com a clara vantagem de terem o acesso facilitado e permitirem diferentes soluções estruturais. Na linha costeira, os dispositivos são geralmente instalações únicas, dependendo o seu tamanho da topografia local, do recurso e da procura local de energia. Relativamente aos dispositivos perto da costa, dado que as ondas em águas pouco profundas estão mais sujeitas à fricção com o fundo marinho, estas localizações poderão apresentar algumas desvantagens do ponto de vista energético. Contudo, dada a sua proximidade à costa, os custos dos sistemas de ancoragem e de ligação à rede diminuem, viabilizando também os dispositivos assentes no fundo [61].

No entanto, dada a proximidade das zonas de rebentação, tanto as tecnologias costeiras, como as perto da costa, estão sujeitas a condições de maior esforço, pois em águas menos profundas ocorrem rebentamentos violentos das ondas. Esta situação é mais crítica para dispositivos instalados a uma profundidade igual ou inferior a 10 m, e para centrais integradas em quebra-mares. Os impactos dos rebentamentos das ondas podem exercer picos de pressão de curta duração, razão pela qual as barreiras frontais das câmaras de energia das ondas têm de ser cuidadosamente concebidas. No caso de dispositivos submersos, isto é menos crítico. Contudo, o transporte de sedimentos e as correntes locais perto da costa podem ser aspectos críticos na concepção dos dispositivos. A segurança na concepção de estruturas e de sistemas de ancoragem é essencial para a fiabilidade dos dispositivos, pois o excesso de energia das ondas, a intensidade dos rebentamentos e a inadequação dos componentes estruturais, dos procedimentos de instalação, ou dos sistemas de ancoragem, pode provocar a destruição dos mesmos [61]. Seguidamente, sumariam-se as principais vantagens e desvantagens destes locais de instalação:

- **Vantagens:**

- Transporte de energia facilitado

- Ausência de grandes extensões de cabos submarinos e de sistemas de fixação complexos
- Maior facilidade de instalação e manutenção
- Custos diminuídos dos sistemas de ancoragem e de ligação à rede
- **Desvantagens:**
 - Impacte visual negativo
 - Poucos lugares disponíveis com as características geomorfológicas ideais
 - Níveis mais baixos de energia incidente disponível (entre 25% e 50%), comparativamente a um dispositivo afastado da costa
 - Rebentação muito forte pode estragar a estrutura

4.3.2 Tecnologias afastadas da costa

Consideram-se como tecnologias afastadas da costa (ao largo) aquelas que se encontram nas linhas batimétricas para lá dos 50 m. Como as ondas percorrem as águas profundas do oceano com perdas mínimas de energia, é expectável que as tecnologias flutuantes ancoradas em águas profundas tenham o potencial mais elevado para implementação em larga escala. Dadas as dimensões projectadas para alguns desses dispositivos, os mesmos poderão vir a constituir instalações únicas, embora a maior parte deles seja projectada com características modulares, para instalação em matrizes. A capacidade de produção de energia dos projectos pode variar entre algumas centenas de quilowatts, em pequenas instalações, e vários gigawatts, em parques de ondas de dispositivos múltiplos [61].

Apesar da clara vantagem energética face às tecnologias mais próximas da costa, a instalação de dispositivos ao largo pode, por outro lado, significar a perda total dum dispositivo, ou a sua inactivação por um período prolongado. Na eventualidade de destruição dum destes dispositivos, os fragmentos flutuantes podem representar riscos para os navios. Em termos de engenharia, os riscos técnicos de concepção, construção, instalação e funcionamento podem ser minimizados, recorrendo ao conhecimento técnico adquirido nos sectores de exploração petrolífera e de gás em águas profundas, incluindo os procedimentos de avaliação de risco. Os testes rigorosos de componentes e protótipos também são necessários, requerendo geralmente instalações de teste específicas, situadas em terra, tais como as criadas no EMEC e no NaREC. Seguidamente, sumariam-se as principais vantagens e desvantagens destes locais de instalação:

- **Vantagens:**
 - Potencial mais elevado (ondas mais energéticas)
 - Melhor relação Energia Produzida/Custos Associados
 - Sistemas de amarração (flexíveis ou rígidos)
- **Desvantagens:**
 - Cabos submarinos (transferência para terra da energia eléctrica produzida).
 - Acarretam um desafio tecnológico mais elevado

4.4 Condicionantes Ambientais e Económicas

O sucesso da implementação de parques de energia das ondas depende directamente dos níveis de impacte ambiental e de impacte económico. Nesse âmbito, para que este tipo de tecnologia seja considerado eficaz, terá de apresentar um reduzido impacte ambiental, aliado a um considerável impacte económico. Quer isto dizer, que os dispositivos de energia das ondas deverão ser capazes de retornar, a curto e médio prazo, o capital investido, mas com um limitado impacte do ambiente marinho, qualquer que seja o local de instalação para o qual foram concebidos [8]. Nesta secção, serão analisados os impactos ambiental e económico, esperados para este género de tecnologia.

4.4.1 Impacte ambiental

As interações ambientais das tecnologias de energia das ondas são limitadas, tendo em conta que a selecção dos locais é feita de modo prudente e que o seu desenvolvimento em locais sensíveis é feito de modo controlado. O ruído pode ter uma interacção potencialmente negativa em zonas com cetáceos, mas ainda não existem provas científicas desse facto e é necessário estudar esta questão mais detalhadamente. Existem outros impactos resultantes da instalação de cabos eléctricos e dos sistemas de funcionamento e de ancoragem, mas são controláveis. O impacte visual pode ser significativo para os dispositivos na linha costeira e perto da costa [8]. Todavia, espera-se que estes tipos de dispositivos tenham apenas um contributo marginal na exploração deste recurso. Para sintetizar os possíveis impactos ambientais causados durante as diversas fases de implementação das tecnologias de energia das ondas, apresentam a seguir três tabelas, referentes às seguintes fases: a) a tabela 4.2 refere-se às fases de construção e instalação dos dispositivos; b) a tabela 4.3 refere-se às fases de operação e manutenção dos dispositivos; c) a tabela 4.4 refere-se à fase de desmantelamento dos dispositivos.

Tabela 4.2: Impactes ambientais associados à construção e instalação dos dispositivos.

Fonte: Sarmento e Cruz., 2004 [8].

OPERAÇÃO	IMPACTES POSSÍVEIS	MEDIDAS DE MINIMIZAÇÃO
Instalação de cabos submarinos	Perturbação de habitats perto dos cabos Danificação de áreas arqueológicas	Evitar colocação de cabos submarinos em zonas referenciadas
Instalação de cabos na costa	Perturbação de habitats perto dos cabos	Evitar colocação de dispositivos e toda a estrutura envolvente em zonas referenciadas
Instalação de sistemas de amarração	Efeitos semelhantes aos ocorridos na amarração de navios e plataformas flutuantes	Evitar colocação de blocos de amarração em zonas referenciadas
Construção de dispositivo	Impactos diversos (visuais, ruído, etc.)	Evitar construção do dispositivo no local
Tráfego marítimo durante a instalação	Aumento do tráfego marítimo durante instalação pode afectar as espécies	Evitar instalação de dispositivos em épocas migratórias, períodos de descanso, etc.

Tabela 4.3: Impactes ambientais associados à operação e manutenção de dispositivos.

Fonte: Sarmento e Cruz., 2004 [8].

OPERAÇÃO	POSSÍVEIS IMPACTES	MEDIDAS DE MINIMIZAÇÃO
Presença do dispositivo	Impactes visuais	Depende do tipo de dispositivo, sendo particularmente relevantes nos costeiros
	Efeitos positivos e negativos nos recursos pesqueiros (dispositivos ao largo)	Criação de zonas de exclusão e recifes artificiais Evitar zonas de pesca comercial e de recreio
	Influência do ruído nos mamíferos marinhos	Adaptar projecto do dispositivo para evitar atrair algumas espécies (distância entre dispositivos)
	Impactes na navegação (dispositivos não costeiros)	Evitar colocação em zonas de tráfego marítimo Sinalizar dispositivos (luzes, radar, etc.)
	Influência sobre erosão costeira Alteração de habitats marinhos Alteração do valor turístico da zona	Depende fortemente do tipo de dispositivo, podendo ter impactes benéficos ou nefastos
Presença de cabos submarinos	Geração de um campo electromagnético	Cabos submarinos enterrados no fundo mar para minimizar o impacte
Operação do sistema de conversão	Impactes que dependem fortemente do sistema em causa	Variação com o tipo de sistema: impacte mais provável será ruído
Presença do sistema de amarração	A presença dos blocos de amarração (âncoras) afecta o meio envolvente	Devem-se evitar certas áreas identificadas como zonas importantes para pesca, etc.
	Presença das correntes de amarração pode afectar os habitats naturais do fundo	Concepção das correntes para que não arrastem no fundo marinho
	Sistema de amarração pode constituir um recife artificial, fomentando aparecimento e crescimento de espécies marinhas	Impacto benéfico (não necessita de medidas de minimização)
Presença de dispositivos costeiros	Instalações costeiras terão um impacto visual (apoio, subestações, etc.)	Escolha adequada do local de implementação e procura de soluções arquitectónicas adequadas
Manutenção	Regularidade na manutenção pode provocar aumento do tráfego marítimo	Respeito pelas normas preventivas, em particular evitar os períodos de migrações dos animais
Mecanismos anti-corrosão	Possíveis emissões tóxicas para o meio envolvente	A indústria naval apresenta soluções não tóxicas (revestimento à base de silicone)

Tabela 4.4: Impactes ambientais associados ao desmantelamento de dispositivos.

Fonte: Sarmento e Cruz, 2004 [8].

OPERAÇÃO	IMPACTES POSSÍVEIS	MEDIDAS DE MINIMIZAÇÃO
Desmantelamento e remoção do dispositivo	Impactes imediatos predominantes nos dispositivos costeiros e ao largo (eventual remoção do recife artificial criado)	Projecto do dispositivo deve ter em atenção utilização de materiais recicláveis
Remoção do sistema de amarração	Influência no meio envolvente (alteração do habitat de algumas espécies)	Utilização de técnicas de minimização disponíveis na indústria ao largo
Remoção dos cabos submarinos		

4.4.2 Factores económicos

A nível económico, a principal razão para a falta de investimento na energia das ondas é o elevado custo de capital necessário ao seu desenvolvimento, especialmente na fase inicial da tecnologia. Não obstante, por um lado, o potencial da energia das ondas oceânicas como alternativa energética futura é significativo, principalmente em regiões com uma área de costa considerável. Por outro lado, o impacto da indústria da energia das ondas no mercado de trabalho pode ser particularmente interessante em regiões com fraca actividade industrial, ou tradicionalmente ligadas às actividades navais, como é o caso da R. A. Madeira.

No entanto, um dos entraves à sua aceitação imediata pode ser a utilização do espaço do oceano, o que pode competir com actividades de pesca e de navegação. De facto, a competição com outras actividades económicas de exploração dos recursos marinhos, poderá ser um dos problemas a enfrentar na implementação deste tipo de tecnologia. Um dos argumentos potencialmente fortes para a sinergia entre a energia das ondas e as pescas poderá ser o facto de que a criação de grandes parques de energia das ondas terá, como efeito secundário, o estabelecimento de reservas marinhas, pois, em geral, os parques estarão fechados ao tráfego marítimo e à exploração pesqueira, numa área de vários quilómetros quadrados. Assim, essas zonas poderão constituir habitats privilegiados para a recuperação de espécies marinhas que sejam alvos do sector pesqueiro, permitindo a sua manutenção.

No plano dos custos de produção, para que esta fonte de energia se torne competitiva, terá de apresentar um quociente custo/benefício baixo, para que se justifique a sua introdução na rede eléctrica. Como tal, é necessário ter em consideração diversos factores que determinam o custo energético das diversas fontes, mediante um conjunto de parâmetros económicos, como sejam: custo esperado da energia, níveis de investimento de capital, horizonte temporal de exploração da potência instalada e redução de custo de capital, relacionada com o aumento da maturidade da tecnologia. Neste âmbito, a medição do custo de produção energética em €/kWh (Euros por kWh), é uma forma de representar a viabilidade económica da tecnologia de produção de energia, através da comparação dos custos totais de investimento e de funcionamento e manutenção com a produção total de electricidade, durante o período de depreciação da instalação [61].

Como ainda não existe um estudo de viabilidade económica e de custo de produção para a energia das ondas na R. A. Madeira (algo que deve ser pensado a curto prazo), apresenta-se seguidamente uma breve exposição do estudo económico efectuado para Portugal Continental. Neste âmbito, a figura 4.7 representa o custo de produção esperado para as várias fases de implementação da tecnologia, desde a fase de demonstração do protótipo, até à fase de maturação comercial da tecnologia. Durante a fase de demonstração dos protótipos, o custo de produção esperado ronda os 0.25 a 0.27 €/kWh. Nesta fase, a produção energética por cada tecnologia testada não deverá exceder os 4 MW, e a capacidade total produzida rondará os 20 MW. Durante a fase pré-comercial espera-se que o custo de produção desça para valores entre 0.16 e os 0.21 €/kWh. Nesta fase a produção energética por tecno-

logia testada deverá ascender a capacidades próximas dos 20 MW, e a potência instalada deverá ascender aos 100 MW [18].

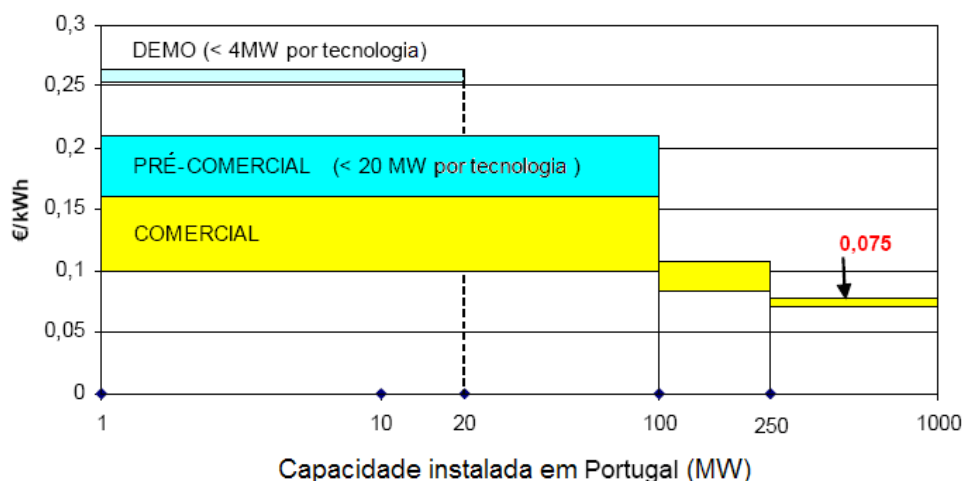


Fig. 4.7: Custo de produção para a energia das ondas, nas fases de implementação. Fonte: Melo, 2009 [18].

Na fase comercial o aumento da potência produzida e o decréscimo do custo de produção ocorrerá por fases. Numa primeira fase a capacidade energética estará ao nível da produzida durante a fase pré comercial. Posteriormente com a maturação tecnológica e comercial dos dispositivos, são esperados valores de capacidade entre os 100 a 250 MW e os 1000 MW (1GW). Nessa fase de maturação comercial o custo de produção deverá rondar entre os 0,075 e os 0,12 €/kWh. No caso da produção superar a barreira dos 5 GW e atingir valores próximos dos 10 GW o custo de produção associado reduzir-se-ia para menos de metade, podendo atingir valores próximos dos 0,0375 €/kWh [18].

Apesar desta observação, a energia produzida a partir das ondas deverá ser mais cara, até atingir uma capacidade energética de algumas centenas de MW. Para facilitar a aceitação deste tipo de tecnologias e incentivar o investimento de capital nas mesmas, deverão ser implementadas uma série de medidas financeiras atractivas, nomeadamente: **a)** subsídios de apoio à investigação tecnológica e co-financiamento estatal de projectos, incluindo mão-de-obra, equipamento e custos de operação; **b)** tarifa de alimentação reduzida para a produção energética introduzida na rede – conceito de tarifa de alimentação é uma forma de apoio que permite às tecnologias de energias renováveis ultrapassarem a fase inicial de competição com as tecnologias tradicionais, consistindo numa taxa paga pelos operadores da rede para além do preço normal, por kWh de electricidade produzida; **c)** reduções de impostos e outros incentivos fiscais para os utilizadores e investidores dessas tecnologias; **d)** criação de “Certificados Verdes” e “Obrigações em Energias Renováveis” para apoio aos investimentos industriais – os “Certificados Verdes” permitem negociar a electricidade renovável no sistema de negociação de emissões, e as “Obrigações em Energias Renováveis” estabelecem cotas mínimas de energias renováveis no conjunto de todos os produtores de electricidade [61].

4.5 Tecnologia Pelamis

Após consulta das várias tecnologias existentes para exploração da energia das ondas, e dado o elevado número de soluções tecnológicas existentes, houve necessidade de focar o trabalho na tecnologia que apresentasse mais vantagens, dos pontos de vista ambiental, económico e logístico. Nesse âmbito, verificou-se que a tecnologia Pelamis, que já se encontra actualmente em fase de arranque comercial, é uma das mais favorecidas. Apesar do recente revés sofrido em Portugal Continental, no qual os dispositivos do parque de ondas da Aguçadoura, ao largo de Espinho, revelaram problemas estruturais nas juntas de articulação, diminuindo a sua capacidade de flutuação e obrigando à sua remoção dos sistemas de ancoragem e colocação em doca seca, a situação encontra-se resolvida, do ponto de vista técnico. Não obstante, durante os 3 meses em que os dispositivos operaram eficazmente, verificou-se a introdução de 2 MW na rede eléctrica nacional, confirmando assim a viabilidade deste equipamento.

Actualmente, os dispositivos reparados ainda se encontram retidos em doca seca, devido a problemas de financiamento da empresa que detém o capital maioritário do projecto. Assim, a tecnologia Pelamis continua a merecer a confiança de consórcios nacionais e internacionais, que se justifica pela criação de novos parques de ondas com estas tecnologias, nomeadamente na área costeira do Reino Unido. Para elucidar as vantagens deste tipo de dispositivos, segue-se uma breve descrição dos mesmos.

4.5.1 Vantagens desta tecnologia

O Pelamis é um dispositivo de conversão de energia das ondas do tipo progressivo. Os dispositivos progressivos são sistemas alongados com uma dimensão longitudinal da ordem de grandeza do comprimento da onda e estão dispostos no sentido de propagação da onda, para gerarem um efeito de bombeamento progressivo, associado à passagem da onda, por acção de um elemento flexível em contacto com a água. Assim, o Pelamis consiste numa estrutura articulada semi-submersa, composta por diferentes módulos cilíndricos unidos por juntas flexíveis. O movimento ondulatório das ondas incidentes provoca a oscilação dos módulos cilíndricos em torno das juntas que os unem e, dessa forma, geram uma pressurização do óleo, que será forçado a passar por motores hidráulicos, accionando os geradores eléctricos para a produção electricidade [76].

Dada a instabilidade intrínseca da agitação marítima, estes dispositivos contêm acumuladores que suavizam a produção de corrente eléctrica, através da regulação dos geradores eléctricos. Posteriormente, a energia convertida em cada uma das juntas é introduzida na rede eléctrica através de um único cabo, podendo ocorrer a partilha duma mesma ligação entre os vários dispositivos. A configuração das juntas permite o ajuste da resposta da máquina, induzindo um comportamento ressonante que maximiza a captura de energia em estados de mar moderados. O controlo dessa configuração permite a maximização da captura de energia, para os regimes menos poderosos, e a garantia de sobrevivência

da máquina nos regimes mais energéticos. A figura 4.8 mostra um dos dispositivos testados em mar alto, semelhante ao modelo de dispositivos que foram usados no parque de ondas da Aguçadoura.



Fig. 4.8: Conversor de energia das ondas Pelamis P1-A (750kW). Fonte: www.pelamiswave.com.

4.5.2 Âmbito de aplicação

O Pelamis foi concebido tendo em mente a sua implementação em parques, não sendo de estranhar, por isso, o facto da energia ser extraída de todos os módulos (três em cada dispositivo) e enviada para terra através de um único cabo, algo particularmente relevante na presença dum número elevado de dispositivos – numa perspectiva de minimização de custos. Os conceitos mais importantes na concepção do Pelamis estão relacionados com a sua competitividade técnica e a sua sobrevivência estrutural. Assim, por um lado, a tentativa de utilização de componentes já existentes na indústria de exploração em mar alto, permitirá produzir componentes mais eficientes a um custo mais reduzido do que o actual. Por outro lado, a garantia de sobrevivência do dispositivo, mesmo em condições de agitação marítima extrema, foi um dos parâmetros fulcrais em todo o processo de desenvolvimento, sendo considerado mais prioritário do que os aperfeiçoamentos à conversão de energia.

A nível estrutural, uma das componentes importantes do Pelamis é o seu sistema de fixação ao fundo do mar, que assume uma relevância fundamental, dadas as características do dispositivo. Neste sentido, as amarrações são compostas por um sistema de bóias e pesos, que previnem a tensão excessiva nos cabos, enquanto mantêm a máquina em posição. A figura 4.9 esquematiza o sistema de fixação do Pelamis [76].

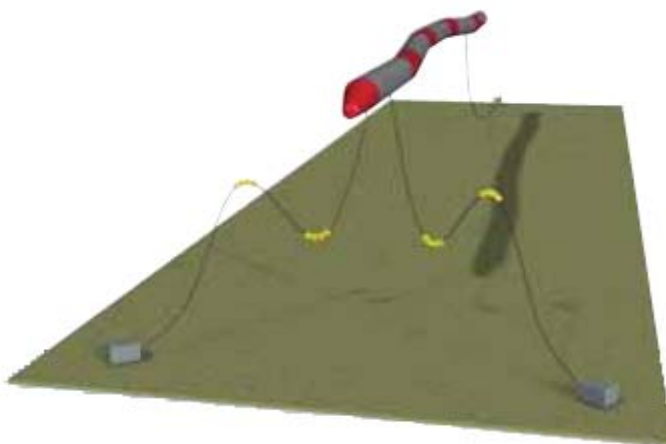


Fig. 4.9: Sistema de fixação do Pelamis. Fonte: www.pelamiswave.com.

4.5.3 Especificações técnicas

O dispositivo Pelamis foi desenhado para ser instalado em regiões com uma batimetria entre os 50 e os 100 m (tipicamente entre os 5 e os 10 km da costa em plataformas continentais, e menos de 5 km em plataformas insulares), onde as ondas apresentam maior energia. Cada dispositivo possui cinco tubos circulares e quatro módulos de conversão de energia – a figura 4.10 esquematiza um desses conversores –, perfazendo uma capacidade unitária de 750 kW, por dispositivo. O comprimento de cada Pelamis, à escala 1:1, é de 180 m e o seu diâmetro externo é de 4 m. Cada dispositivo consegue gerar energia suficiente para aproximadamente 500 casas, por ano. O programa de testes do Pelamis incluiu ensaios laboratoriais com diversos modelos (com escalas compreendidas entre 1:80 e 1:7). Em 23 de Fevereiro de 2004 foi anunciado o ensaio dum dispositivo à escala real, que foi concretizado muito recentemente no Parque de Ondas da Aguçadoura, Póvoa de Varzim, em Outubro de 2008 [76].

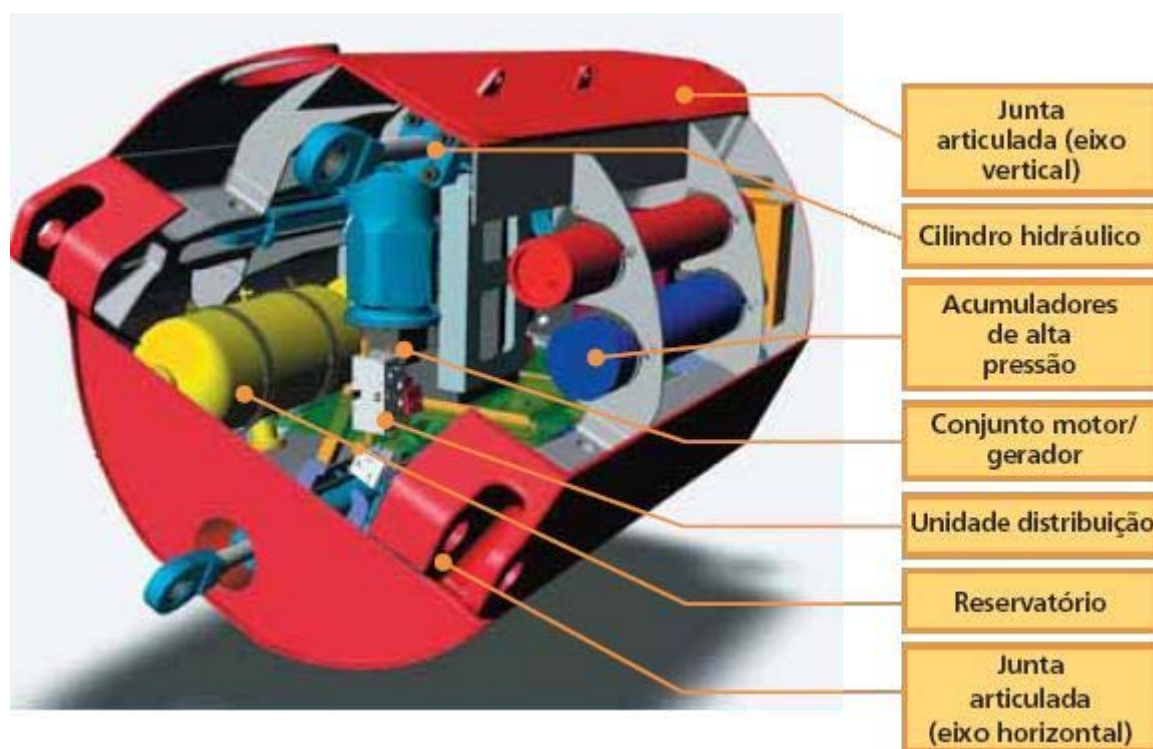


Fig. 4.10: Esquema dum módulo de conversão de energia dum dispositivo Pelamis. A conversão é feita nos módulos de potência e cada módulo pode produzir 187,5 KW. Fonte (adaptado): www.pelamiswave.com

4.5.4 Impacte ambiental do Pelamis.

Ambientalmente, os parques de ondas são considerados das formas mais favoráveis de geração de electricidade. No entanto, dependendo do regime de regulamentação, estes projectos estão sujeitos a estudos de impacte ambiental (EIA), como parte da actividade de desenvolvimento do projecto, com o objectivo de minimizar e mitigar os impactos potenciais dum projecto deste nível. As áreas em foco para um Estudo de Impacte Ambiental, definidas no âmbito dos processos de delimitação dos parques de ondas, são descritas seguidamente, para o caso dos dispositivos Pelamis.

4.5.4.1 Impacte visual

As máquinas Pelamis têm cerca de metade do volume submerso. Como tal, cerca de 2 metros de altura da estrutura são visíveis acima da linha de água. Por outro lado, as máquinas Pelamis estão equipadas com luzes amarelas intermitentes – um *flash* a cada 5 segundos – na parte frontal e traseira das máquinas. Essas luzes são visíveis a 2 milhas náuticas, de noite, para prevenir a aproximação inadvertida de embarcações. Com base nas informações anteriores e tendo em conta o comprimento destes dispositivos (180 m), é espectável algum impacte visual, o qual, no entanto é minimizado pelo facto de se tratar dum dispositivo articulado, movendo-se com a ondulação [76].

4.5.4.2 Impacte sobre habitats dos fundos marinhos

Os componentes de amarração do Pelamis (correntes, cordames e âncoras) podem causar ligeiras perturbações às espécies locais, durante a instalação, dependendo das técnicas e equipamentos específicos utilizados. No entanto, por um lado, esses componentes foram concebidos para terem impacte mínimo. Por outro lado, o desmantelamento do sistema de amarração é um processo relativamente simples. Não obstante, durante a remoção do equipamento das áreas de sedimentos é provável a ocorrência de perturbação localizada da cobertura sedimentar, a qual deverá regressar à sua condição original, após alguns dias. Paralelamente, durante o tempo de vida de um projecto, é provável que as componentes de amarração atraiam certas espécies, como ouriços e caranguejos (no fundo marinho), e peixes (na coluna de água). No entanto, essa circunstância deverá constituir um impacte positivo [76].

4.5.4.3 Impacte sobre fauna e flora marinha autóctones

No âmbito da referência feita no final do parágrafo anterior, os peixes são conhecidos por se reunir em torno de objectos emergentes do fundo marinho, quer sejam recifes ou estruturas artificiais. As máquinas Pelamis e os seus sistemas de amarração atrairão, muito provavelmente, cardumes de peixes e, através do fornecimento de abrigos à actividade pesqueira, poderão fornecer pontos de fixação a diversas espécies de fauna e flora autóctone, bem como locais de nidificação e desova, cruciais ao crescimento das populações marinhas autóctones, actualmente em declínio. Prevê-se, portanto, que não haja qualquer efeito adverso sobre as espécies de fauna e flora autóctones, podendo inclusivamente contribuir para a sua recuperação [76].

4.5.4.4 Conflitos com outros usos do mar

Da mesma forma que os recifes, as águas rasas, e outras embarcações e instalações offshore apresentaram riscos para a navegação, as máquinas Pelamis também podem constituir um risco nesse sentido. Como tal, a selecção das áreas apropriadas à instalação dos dispositivos requer o estudo pré-

vio do tráfego marítimo e uma avaliação do risco para a navegação. Nesse âmbito é necessário identificar, quantificar e atenuar esse risco durante a elaboração do projecto. Para tal, é importante que as partes interessadas – navegação comercial e de recreio, indústria pesqueira, entidades militares, entre outros – estejam envolvidos nesse processo desde o início. Paralelamente, existem outras opções disponíveis para a mitigação do risco de colisão, que podem ser empregados em projectos de parques de ondas, incluindo: bóias de marcação, esquemas de pintura para realce da máquina, sistemas de iluminação (já aplicados – ver parágrafo sobre impacte visual), avisos aos navegantes, sistemas de radar, informação local no porto. No âmbito do presente estudo, esta preocupação foi considerada, tendo-se analisado os conflitos de uso mencionados. Dessa análise, resultou a exclusão de áreas onde os conflitos de uso se revelaram mais críticos [76].

5. ESTUDO SIG PARA DETERMINAÇÃO DE ÁREAS DE CONCESSÃO

Neste capítulo, descreve-se a metodologia usada na avaliação do recurso energético das ondas, ao largo da costa da R. A. Madeira, com o objectivo de determinar os melhores locais para a possível implementação de futuros parques de energias das ondas. Essa avaliação foi efectuada através de análises vectoriais e *raster* num SIG (Sistema de Informação Geográfica), visto tratarem-se de ferramentas com grande eficiência em pesquisa geográfica. O *software* usado para o processamento dos dados, e posterior aplicação dos diferentes critérios de selecção, foi o ArcGIS Desktop 9.3, com a extensão Spatial Analyst. O *hardware* utilizado foi um computador com um processador Pentium M de 2.0 GHz, 1 GB de RAM e 60 GB de disco rígido, a correr o sistema operativo Windows XP Home Edition, da Microsoft. Os dados numéricos usados nesta avaliação (valores de parâmetros e coordenadas dos pontos de simulação desses parâmetros) encontram-se tabelados nos apêndices (tabelas A.1, B.1, B.8, B.11).

5.1 Recolha de Dados para Análise SIG

Todo o processo de determinação das áreas favoráveis à implementação da tecnologia, requereu o recurso a informação base. Para construir a imagem de base do sistema de informação geográfica da Ilha da Madeira e respectiva orla costeira, utilizou-se a Carta Náutica 36201 (INT 1919) do Arquipélago da Madeira (Ilha da Madeira e Ilhas Desertas, 1ª edição – Dezembro de 2002), adquirida na Loja Náutica do Instituto Hidrográfico, e actualizada com as correcções e avisos à navegação mais recentes, até Julho de 2009. Foram ainda utilizadas as Cartas Náuticas 36401 (Paúl do Mar à Praia Formosa, 1ª edição – Março 2008), 36402 (INT 1920) – (Ponta Gorda à Ponta de São Lourenço 2ª edição – Outubro 2007) e a Carta Náutica 37501 – (Portos da Ilha da Madeira; 1ª edição – Outubro 2007) para obter informações adicionais.

Foi igualmente requisitada ao Instituto Hidrográfico informação SIG relativas à linha de costa e linhas batimétricas, as quais foram gentilmente cedidas em formato vectorial (*shapefile*). A Carta Náutica 36201 foi digitalizada e georreferenciada no sistema de coordenadas WGS 84, tomando como referência a linha de costa. Ainda de acordo com a informação necessária ao trabalho, foram também recolhidos os dados relativos à geologia marinha, declive do fundo marinho, principais portos e rotas de navegação, bóias-ondógrafo, aquaculturas e reservas marinhas, área de protecção de cabos submarinos, sítios classificados e parques naturais e finalmente o esquema da rede eléctrica da R.A.Madeira.

5.2 Tratamento de Informação para Análise SIG

A metodologia seguida nesta fase de avaliação consistiu, nos seguintes passos: **a)** vectorização da informação e criação de camadas, através da marcação dessas áreas com pontos, linhas e polígonos; **b)** quantificação dos parâmetros estudados nas respectivas áreas analisadas (dados ONDATLAS); **c)** identificação dos factores (usos do mar), restrições e conflitos de uso existentes nas áreas marítimas entre as linhas batimétricas dos 50 e 100 metros; **d)** análise da máscara resultante e atribuição de pesos específicos aos diversos factores de ponderação; **e)** análise dos múltiplos critérios considerados e resposta final – identificação dos melhores locais para implementação de parques de energia das ondas. Estas etapas são descritas nas subsecções seguintes.

5.2.1 Criação de camadas (*layers*)

Os dados foram introduzidos em duas estruturas diferentes: uma *raster* e outra *vectorial*. Na estrutura *raster* (matricial), o espaço geográfico foi dividido em células regulares (matriz) de modo a que cada célula pudesse receber um valor único. A utilização dos dados vectoriais permite abranger não só a representação geométrica dos recursos, mas também um conjunto de atributos que os caracterizam, ampliando a capacidade de análise. Paralelamente, a utilização dos dados *raster* permitiu a realização de cálculos de interpolação geo-espacial. Na estrutura vectorial, as características representaram-se por três elementos distintos: pontos, linhas e polígonos. Nesta fase, o uso de diferentes ferramentas foi fundamental para a interpretação de diferentes graus de informação. Um exemplo disso foi a criação da TIN (“*Triangular Irregular Network*”) que se utilizou para estabelecer um modelo do fundo marinho (fig.5.1), tendo como informação base a batimetria (figura anexo C.9).

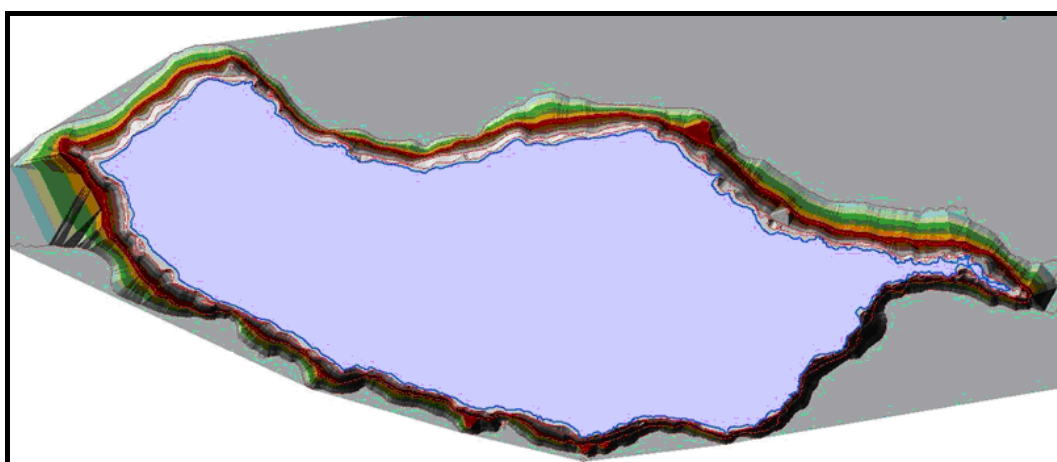


Fig. 5.1: Exemplo do TIN elaborado para a batimetria da ilha da Madeira.

Após o tratamento de toda a informação recolhida procedeu-se á sua classificação de forma a ser utilizada posteriormente. A tabela 5.1 sumariza todas as camadas (*layers*) criadas para este trabalho.

Tabela 5.1: Camadas (*layers*) utilizadas na avaliação da informação SIG.

Nome	Tipo
Batimetria	Linha
Aquaculturas	Polígono
Armações de pesca	Polígono
Reserva Natural	Polígono
Bóias Ondógrafo	Ponto
Pontos Modelo Ondatlas	Ponto
Pontos Ancoragem	Ponto
Cabos submarinos	Linha
Rotas Marítimas	Linha
Linha de costa	Polígono
Portos	Polígono
Rede eléctrica (alta e média tensão)	Linha
Centrais Energéticas	Ponto
Curvas de Nível	Linha
Sedimentologia	Polígono

Após a vectorização de todas as informações no ARCGIS, gerou-se uma imagem completa dos usos marítimos da Ilha da Madeira. Posteriormente, adicionaram-se os pontos do modelo do ONDATLAS [20], permitindo desse modo a quantificação das áreas, de acordo com os valores dos diferentes parâmetros em estudo. A metodologia seguida nessa fase é descrita em seguida.

5.2.2 Determinação de critérios de classificação

Esta etapa consistiu na avaliação dos critérios de classificação relativos às distâncias à linha de costa (figura anexa C.4), às zonas portuárias (figura anexa C.5) e ainda identificação da geologia marinha, na área em que foi possível encontrar dados para tal – zonas Sudoeste e Oeste – (figura anexa C.6). Analisaram-se ainda as infra-estruturas energéticas existentes na Ilha da Madeira, de modo a identificar os pontos de contacto com a rede eléctrica mais próximos da orla costeira. Nesse sentido, a distribuição da rede eléctrica encontra-se representada na figura anexa C.7. A classificação da distância à costa dos diversos pontos de contacto com a rede eléctrica, encontra-se na figura anexa C.8. Um outro factor importante prende-se com o próprio declive do terreno da ilha – (figura anexa C.10), pois o ponto de entrada dos cabos eléctricos que conduzem a energia oriunda dos Pelamis é um dado importante para este trabalho.

Estes procedimentos requereram o uso de ferramentas distintas. A distância em linha recta (*straight line distance tool*) que foi aplicada à linha de costa, localização dos portos e localização da rede eléctrica. Esta ferramenta mediu a distância de cada tema para cada célula da imagem *raster*. Desta maneira as três imagens que foram obtidas representam a distância aos temas referidos. Em relação ao tema da geologia marinha, uma vez que a informação angariada foi em formato *raster*, teve que se proceder à sua georreferenciação, tendo-se de seguida procedido à sua vectorização. Desta feita criaram-se as diferentes classes relativas às diferentes categorias do tema em questão.

Posteriormente avaliaram-se os critérios de classificação dos restantes temas, incluindo a profundidade e o declive do fundo oceânico (batimetria) – figuras anexas C.9 e C.11 –, e os parâmetros ondulatórios relativos à altura significativa da onda (figura anexa C.12), ao período de pico (figura anexa C.13), e à densidade da potência da onda (figura anexa C.14). Os critérios de classificação foram calculados a partir das características específicas dos diversos parâmetros. Por exemplo, as posições portuárias foram usadas para gerar um conjunto de dados *raster*, em que se representou a distância de cada célula na área de análise aos portos, considerando que o sistema ideal é o mais próximo possível dum porto (para fins de manutenção). Este conjunto de dados pôde então ser utilizado para modelar os critérios de classificação da distância aos portos. Para tal utilizou-se a ponderação inversa da distância (*inverse distance weighted*), para a interpolação e determinação dos dados dos parâmetros ondulatórios (altura média, período de pico e densidade de potência). Para esta etapa, foram usados os 26 pontos do ONDATLAS [62] para a costa da Madeira.

5.2.3 Reclassificação de camadas

Uma vez produzidos os diversos critérios de classificação, foi necessário definir uma escala comum de avaliação de acordo com os seus valores de magnitude, considerando o tipo de conversão de energia das ondas em estudo. Para tal, utilizou-se uma escala de *reclassificação* de 0 (cor verde) a 100 (cor vermelho), em que a melhor condição para a implementação do parque de energia das ondas corresponde ao valor 0, e a pior condição corresponde ao valor 100 (figura 5.2).

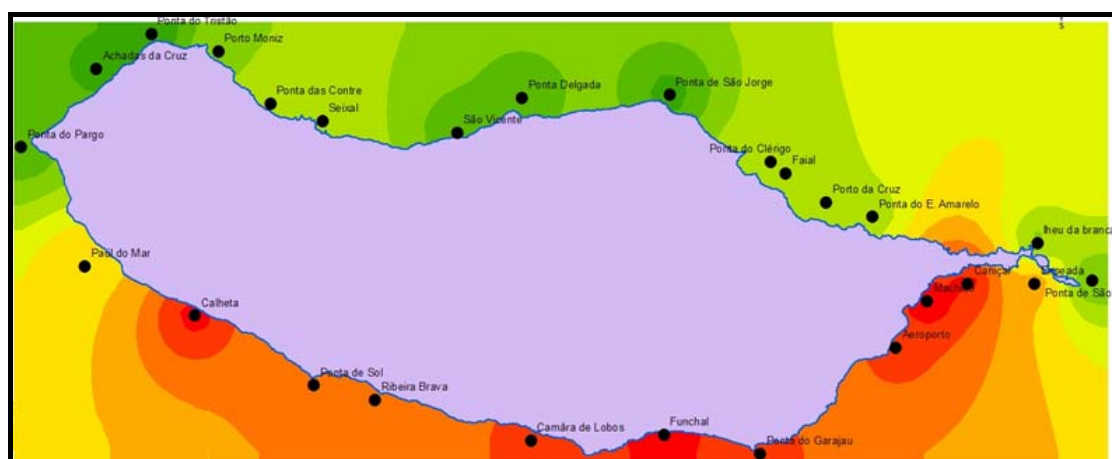


Fig. 5.2: Reclassificação da altura média anual das ondas para a ilha da Madeira.

À semelhança da reclassificação anterior, aplicou-se a mesma metodologia às outras camadas (*layers*). Na tabela 5.2 é possível visualizar o intervalo de reclassificação, assim como o nome das camadas que foram alvo desse processo.

Tabela 5.2: Reclassificações das camadas correspondentes aos diversos temas.

Nome	Intervalo de reclassificação	Figura Anexa
Declive do Terreno (ilha)	0 a 100	C.15
Declive do fundo marinho	0 a 100	C.16
Distância à linha de costa	0 a 100	C.17
Distância aos portos	0 a 100	C.18
Geologia Marinha	por granulometria	C.19
Distâncias às centrais energéticas	0 a 100	C.20
Altura média anual das ondas	0 a 100	C.21
Período de pico médio anual das ondas	0 a 100	C.22
Variação anual da densidade da potência das ondas	0 a 100	C.23

De acordo com a classificação feita pela extensão *Spatial Analyst* procedeu-se à reclassificação dos vários temas, tendo como fio condutor os seguintes factores: **a)** atribuição de 10 classes à classificação anteriormente feita; **b)** variação de 10% entre cada classe sendo a classe mais baixa a correspondente à melhor localização, a que se atribuiu a cor verde, e a classe mais elevada correspondente à zona menos favorável, a que se atribuiu a cor vermelha. Por sua vez estabeleceu-se um gradiente de cores à medida que se transitava da cor verde para a vermelha. A determinação dos sítios preferenciais ocorreu depois desse processo de reclassificação, usando uma escala comum de acordo com os usos do mar. Nesse âmbito, cada reclassificação apresenta uma cor associada: verde – melhores locais; amarelo – locais com algumas restrições; vermelho – piores locais.

5.2.4 Identificação de conflitos de uso (restrições)

Com a reclassificação, todos os factores com impacto foram normalizados a uma escala comum. Face ao objectivo de delimitar uma área favorável à instalação da tecnologia, teve que se ter em conta todos os itens relativos às restrições, podendo estes ser de carácter natural ou artificial. Assim, é necessário excluir as áreas que apresentam restrições técnicas, ambientais, ou associadas a outros usos marinhos, que não podem coexistir com o desenvolvimento dum parque de energia das ondas [19]. De forma a obter respostas sobre a disponibilidade do recurso, excluíram-se todas as áreas que apresentavam conflitos de uso. Entre estas últimas, incluíram-se: rotas marítimas (figura anexa C.1), zonas com cabos submarinos, áreas marinhas protegidas, e zonas portuárias. Estas áreas de cobertura foram marcadas e delimitadas no programa ArcGIS 9.3, tendo sido eliminadas *a priori* do

processo de análise subsequente. O levantamento dessas mesmas restrições teve em consideração os factores sociais, económicos, ambientais e humanos. Usaram-se como restrições os factores presentes na tabela 5.3.

Tabela 5.3: Camadas referentes aos conflitos de uso do mar (restrições).

Nome	Área de restrição	Fonte	Razões para a inclusão
Batimetria	0 a 50 m	Cartas Náuticas	Tecnologia longe da costa é frequentemente implementada entre 50m -100 m
	100 a 200 m	Cartas Náuticas	
Aquaculturas	0 a 200 m	Instituto Hidrográfico, 2007	Desenvolvimento importante para a manutenção da pesca
Armações de pesca	0 a 200 m	WavEC, 2004 Cartas Náuticas	Desenvolvimento importante para a manutenção da pesca
Reserva Natural Parcial do Garajau	0 a 250 m	Decreto Legislativo Regional nº 23/86/M de 04/10/1986	Identificado como sendo de importância nacional e comunitária
Reserva Natural Sítio da Rocha do Navio	0 a 250 m	Decreto Legislativo Regional nº 11/97/M de 30/07/1997	Identificado como sendo de importância nacional e comunitária
Bóias -Ondógrafo	0 a 300 m	Instituto Hidrográfico, 2007	Medição e transmissão de dados oceanográficos e meteorológicos
Pesqueiros	0 a 0,5 milhas náut.	Cartas Náuticas	Zonas de pesca
Pesqueiros	0 a 0,75 milhas náut.	Cartas Náuticas	Zonas de pesca
Pesqueiros	0 a 1 milhas náut.	Cartas Náuticas	Zonas de pesca
Pontos Ancoragem	0 a 300 m	Cartas Náuticas	Âncoras causam maior estrago aos cabos e às amarrações
Protecção de cabos submarinos	0 a 250 m	Cartas Náuticas	Altas tensões; proximidade com estes pode ser muito perigoso
Rotas marítimas	0 a 250 m	Decreto – Lei nº 293/2001, de 20/11/2001; Portaria nº1267/2002, de 14/09/2002.	Tráfego marítimo intenso associado aos navios de passageiros e mercadorias
Área de aproximação aos portos (Limites)	0 a 200 m	Decreto-Lei nº48/2002, 02/03/2002	Desenvolvimento poderia ser difícil e perigoso

Uma vez que existia legislação aplicada a cada uma das restrições optou-se por utilizar a ferramenta *buffer* presente no software ArcGis 9.3. Assim foi possível visualizar os limites de protecção legislados para cada uma das áreas. Os valores atribuídos aos mesmos *buffers* podem também ser consultados na tabela anterior. O *layout* resultante do cruzamento de todas estas restrições, já com o respectivo *buffer*, encontra-se presente na figura anexa C.2. Tomando ainda em consideração a necessidade de estabelecer pontos de contacto entre os cabos provenientes dos dispositivos marinhos e a rede eléctrica em terra, efectuou-se igualmente a identificação dos locais em terra que apresentam eventuais conflitos de uso, nomeadamente, reservas e parques naturais, entre outros sítios classificados. O resultado dessa análise encontra-se na figura anexa C.3. A próxima secção procura descrever a metodologia usada na avaliação e reclassificação da informação recolhida para as diversas regiões sem restrições.

5.2.5 Factores de ponderação

Após a identificação dos conflitos de uso do mar, procedeu-se à determinação do peso relativo que cada tema tinha nas regiões seleccionadas (sem restrições). Nesta fase, esses pesos foram atribuídos a factores, de acordo com a sua importância para a determinação das áreas de implementação das tecnologias das ondas (ponderação). Todos os factores foram gerados (fig.5.3) através da extensão *Spatial Analyst* e da ferramenta (*raster calculator*), a partir dum conjunto de dados do mar, nomeadamente o declive do fundo marinho, a distância à costa, a distância aos portos, a distância à rede de energia, e os parâmetros ondulatórios (altura média significativa, período de pico, densidade de potência das ondas).

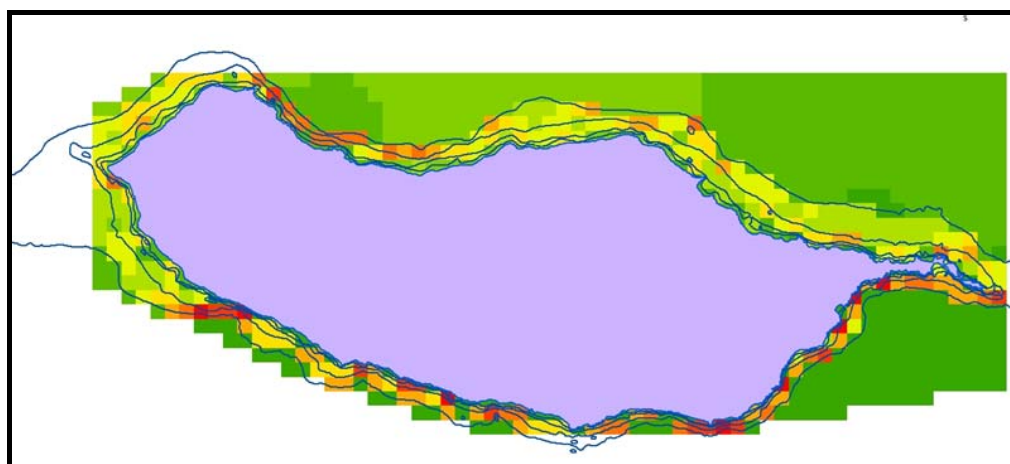


Fig. 5.3: Camada resultante dos factores de ponderação

A ponderação atribuída a cada um dos factores está descrita na tabela 5.4. Tendo como referência os poucos estudos elaborados nesta área, estabeleceu-se como bitola as percentagens que, por norma, são atribuídas a estes factores [19].

Tabela 5.4: Ponderação atribuída aos vários temas.

Factores	Ponderação (%)
Declive do fundo marinho	10
Distância à costa	10
Distância aos portos	10
Distância à rede eléctrica	10
Altura média significativa anual das ondas	20
Período de pico médio anual das ondas	20
Densidade da potência média anual das ondas	20

Por último, efectuou-se a avaliação dessas áreas, relativamente ao seu potencial energético e capacidade de implementação dum parque de ondas, recorrendo ao anterior conjunto de critérios de

selecção e de condições de restrição. Com esta metodologia, pretendeu-se assegurar que as áreas seleccionadas permitiriam a ancoragem dos dispositivos de energia das ondas e que os respectivos cabos poderiam ser enterrados, até à linha de costa. Por outro lado, as áreas em terra próximas deveriam assegurar a conexão desses cabos com a rede eléctrica. Com a aplicação destes critérios, foi então possível avaliar as regiões de maior interesse para análise SIG.

6. ANÁLISE SIG DOS RESULTADOS

Após se ter reunido toda a informação SIG e realizado os respectivos tratamentos, como indicado no capítulo anterior, obtiveram-se os modelos finais, que foram alvo duma nova ponderação, com base nos temas e os seus respectivos pesos (rever tabela 5.4). Nesta fase do processo utilizaram-se todas as camadas anteriormente reclassificadas (rever tabela 5.2). Após a introdução das respectivas percentagens de ponderação, produziu-se uma nova camada, intitulada “Resultados Finais dos Factores de Ponderação”, que corresponde à figura anexa C.24. Na elaboração dessa camada recorreu-se à ferramenta *raster calculator*. Esta ferramenta revelou-se bastante útil pois permitiu atribuir factores de ponderação aos diferentes *rasters*, que vão contribuir para o estudo do melhor local. Com a aplicação dessa ferramenta, e de acordo com a classificação anteriormente referida, em que o 0 (cor verde) correspondia à melhor localização e o valor 100 (cor vermelha) à localização menos favorável, salientaram-se algumas áreas com maior tonalidade de verde, correspondentes às melhores zonas de implementação.

6.1 Apresentação das Regiões de Interesse

A escolha da informação para este estudo, nomeadamente as camadas usadas para elaborar os dois modelos finais – restrições e factores de ponderação – baseou-se nos factores naturais inerentes ao local, onde a tecnologia poderá ser implementada, e no levantamento das condições tidas como ideais para o melhor funcionamento dos dispositivos.

Como referido anteriormente, à medida que se foi apurando a informação pesquisada obtiveram-se dois modelos finais (*layouts*). O primeiro continha a informação relativa às áreas de restrição. Estas basearam-se em diversos factores, incluindo a legislação em vigor e condicionamentos físicos e ambientais. Em particular, teve-se em consideração a delimitação das áreas relativas a corredores marítimos, intervalos de batimetria (nomeadamente entre os 0 e 50 metros, e entre os 100 e 200 metros), zonas de pesqueiro, áreas de aproximação aos portos, pontos de ancoragem, e protecção de cabos de comunicações, entre outros. Todos estes factores representam contrariedades face à instalação de tecnologias de aproveitamento da energia das ondas. Para todos eles foram estabelecidos intervalos em seu redor, de modo a estabelecer um perímetro de protecção. A figura 6.1 representa o cruzamento de todos estes dados, que limitam as zonas para implementação das referidas tecnologias (figura anexa C2).



Fig. 6.1: Zonas de conflito de uso marítimo em redor da ilha da Madeira

Tendo em conta esta primeira série de resultados, e de acordo com as áreas livres resultantes da extrapolação anterior, é possível integrar na análise um novo dado referente aos factores de ponderação que foram anteriormente considerados. Assim, após a ponderação efectuada conforme a tabela 5.4 (do capítulo anterior), onde foram atribuídos diferentes pesos de acordo com as camadas (*layers*) seleccionadas, obteve-se um *layout* onde se constataram os melhores locais para a implementação da tecnologia Pelamis. Esse *layout* encontra-se exposto na figura 6.2.

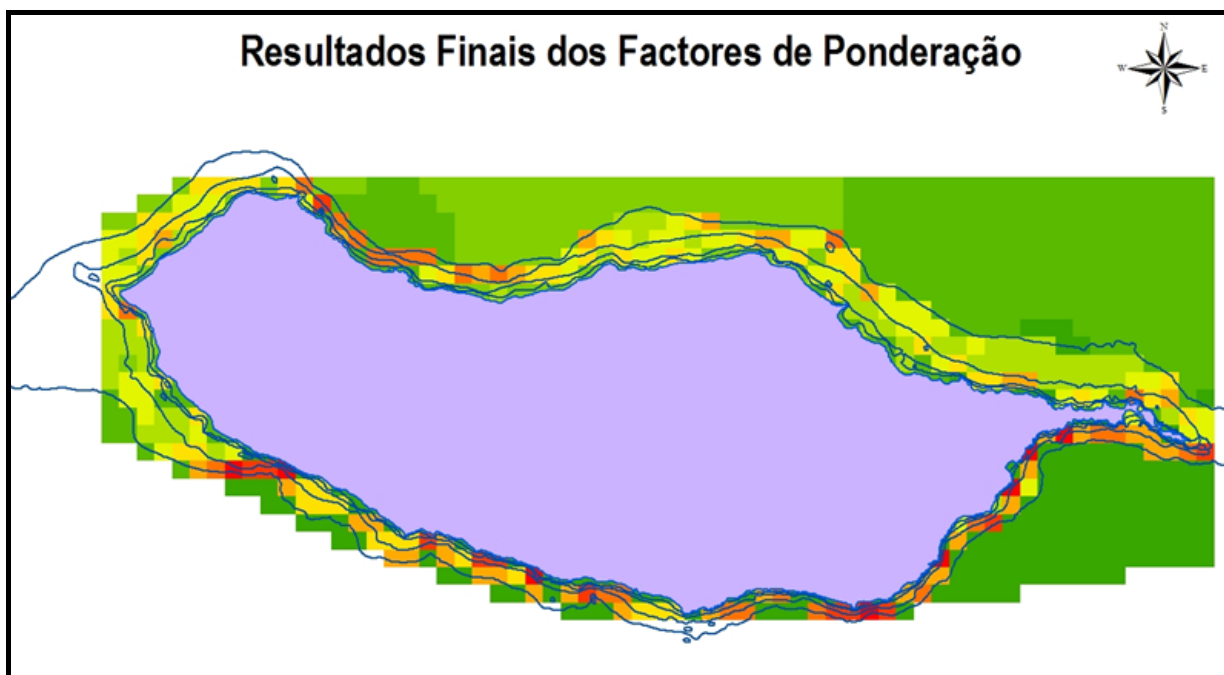


Fig. 6.2: Resultados finais dos factores de ponderação

A sobreposição destas duas camadas de informação (zonas de restrição e zonas de ponderação) permitiu obter três áreas em diferentes zonas em redor da ilha, onde se assume ser possível a implementação de parques de energia das ondas. A primeira das áreas encontra-se na zona Oeste da costa da Madeira, entre as localidades da Ponta do Pargo e do Paul do Mar. A segunda área encontra-se na região Norte da ilha, junto à localidade de Ponta Delgada. Por fim, a terceira área encontra-se na zona Este da ilha, entre as localidades de Porto da Cruz e do Ilhéu da Branca. A localização visual destas áreas está patente na figura anexa C.25. Para melhor visualização, a figura 6.3 ilustra recortes ampliados das três áreas consideradas, a partir dessa figura anexa. Como é possível constatar, as áreas escolhidas não são afectadas por qualquer tipo de restrição, nem intersectam zonas de conflito, constituindo assim as melhores áreas para implementar os ditos parques. Do ponto de vista energético, de todas as áreas fora de zonas restritas, estas três apresentam a melhor relação entre a altura significativa das ondas e o seu período de pico.

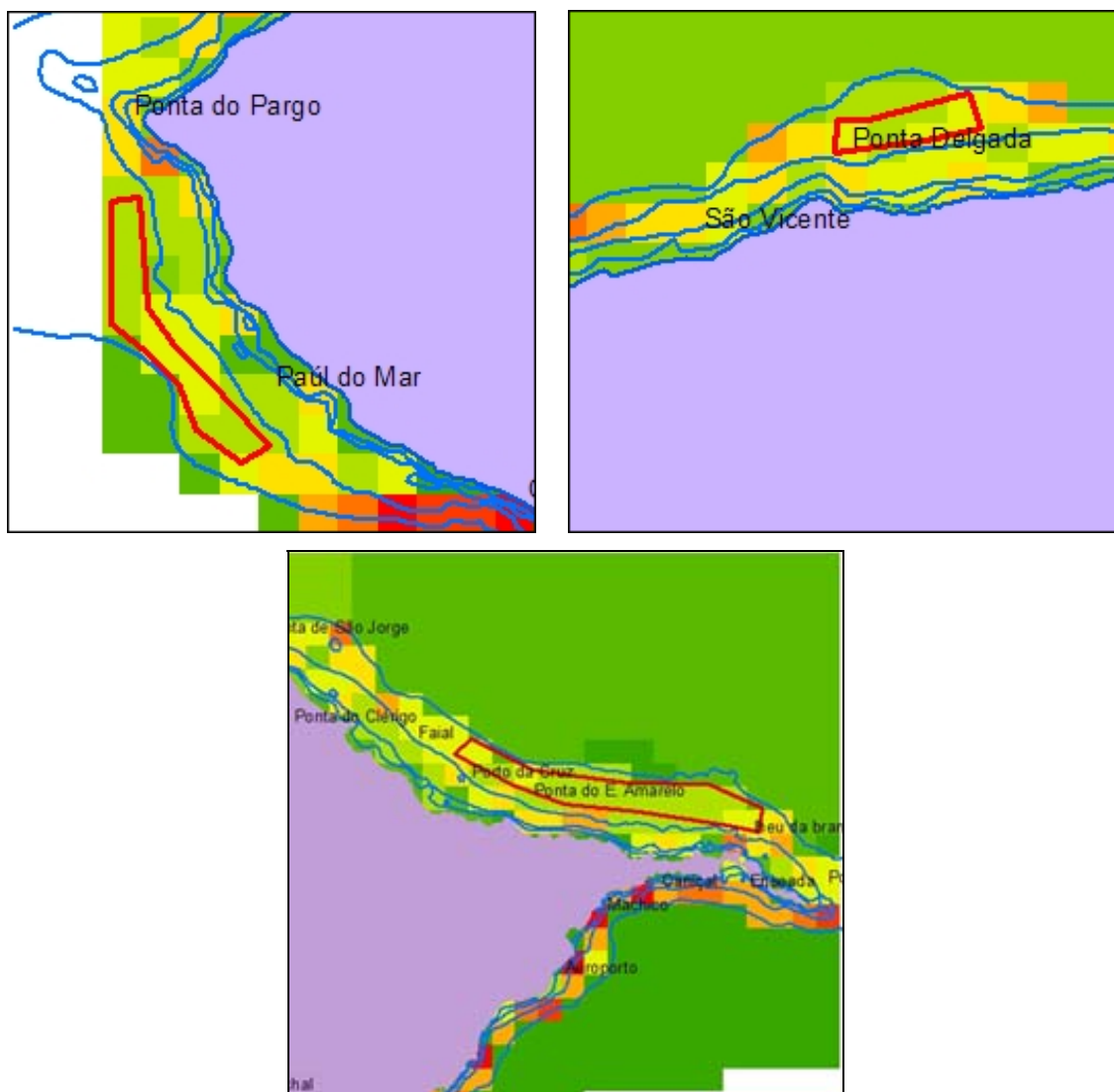


Fig. 6.3: Recortes ampliados das áreas de concessão, escolhidas de acordo com os factores de ponderação. No canto superior esquerdo, está a primeira área, na zona Oeste. No canto superior direito encontra-se a área da zona Norte. Em baixo ao centro, está a área da zona Este.

Em suma, as três áreas obtidas são aquelas em que é possível obter maior rentabilidade da tecnologia Pelamis uma vez que apresentam os melhores resultados de acordo com as ponderações elaboradas. Há que ter em conta que as mesmas provêm duma avaliação geral das principais condições necessárias à instalação da tecnologia. Nesse contexto, há ainda um factor importante a salientar – a sedimentologia. Este revela-se importante no sentido em que a composição do fundo marinho é essencial, quer no ciclo natural das ondas, quer como suporte físico para a fixação dos dispositivos. Uma vez que não foi possível obter essa informação relativa a toda a costa da ilha, não foi possível incluir a mesma nos factores de ponderação. Como tal torna-se necessário ter em conta esta variável em estudos futuros.

Outro pormenor relevante é a rede eléctrica já existente, isto porque quanto mais próxima esta estiver da costa e, por acréscimo, das áreas de implementação da tecnologia, menores serão os gastos na criação de novas infra-estruturas de ligação, para fazer chegar a energia gerada às populações. Daí este factor entrar na lista de ponderações para a obtenção das melhores áreas de implementação. O ponto de entrada dos cabos eléctricos que conduzem a energia dos Pelamis, até à infra-estrutura eléctrica existente na ilha, representam também um factor que requer alguma análise, devido à topografia da costa. Nesse sentido, as encostas com inclinações superiores a 15° revelam-se pouco adequadas à passagem dos cabos eléctricos [37]. Como se pode constatar através da figura 6.4 (também em anexo, na figura C.26), os cabos eléctricos provenientes das áreas de concessão devem ter como ponto de entrada na ilha as zonas com tonalidade verde, representativas de declives pouco acentuados.

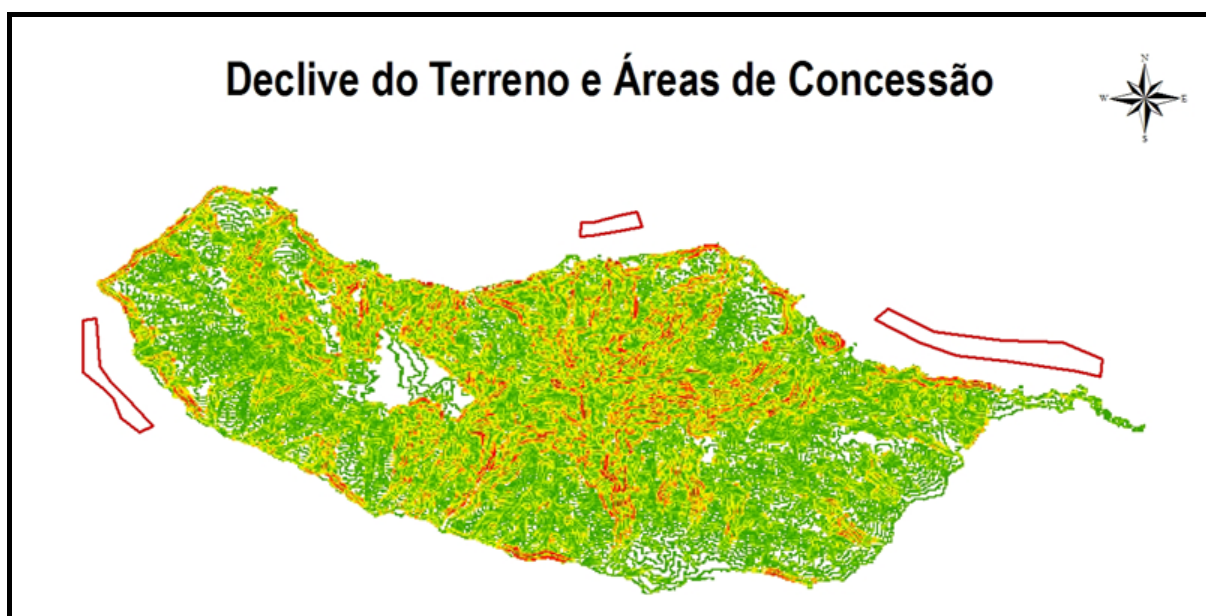


Fig. 6.4: Resultados finais dos factores de ponderação em relação ao declive do terreno.

Estes pontos de entrada para além de terem de coincidir com zonas de pouco declive, têm também de se combinar com zonas onde já existam infra-estruturas energéticas (subestações, postos de transformação, ou mesmo centrais eólicas e hidroeléctricas), preferencialmente. Contudo, pode haver casos em que se terá de converter algumas infra-estruturas, ou mesmo criar novas, como sucede no

caso da área de concessão da zona Oeste). Nos resultados finais dos factores de ponderação, houve uma parte do layout em que não apareceu a identificação dos melhores locais, para posterior análise, a Oeste (próximo da Ponta do Pargo) e a Noroeste (próximo da Ponta do Tristão). Isto deveu-se a limitações do programa e ao facto dos pontos do modelo do ONDATLAS se situarem entre as batimétricas dos 40 e dos 50 m, o que impossibilitou a extrapolação dos resultados por parte do programa até à zona da batimétrica dos 100 m.

É assim necessário aprofundar com estudos mais exaustivos as áreas obtidas e, se necessário, adicionar mais variáveis com o intuito de se obterem resultados o mais precisos possível, pois dado o elevado custo financeiro desta tecnologia, torna-se útil encontrar locais com as melhores condições por forma a potenciar ao máximo a energia das ondas.

7. BREVE ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÓMICA

Na conclusão do estudo SIG, foram encontradas três áreas de concessão (figura 6.3 capítulo 6), uma na zona Norte da ilha, com aproximadamente $2,9 \text{ km}^2$, outra na zona Oeste, com aproximadamente $6,3 \text{ km}^2$ e outra na zona Este, com aproximadamente $15,7 \text{ km}^2$. Dentro das várias condicionantes estudadas estas representam os melhores locais para a implementação da tecnologia Pelamis. Como indicado no capítulo 4, o dispositivo Pelamis mais actual tem 180 m de comprimento [76]. Além disso, como dispõem duma amarração flexível, estes dispositivos necessitam de estar afastados uns dos outros, cerca de 250 m em largura e 100 m em comprimento. Assim, cada Pelamis precisa duma área de exclusão em seu redor de $0,07 \text{ km}^2$ ($280 \times 250 \text{ m}$). Recorrendo a um cálculo aritmético simples (dividindo as áreas de concessão pela área de exclusão dum Pelamis), nota-se que é possível instalar 41 dispositivos na área Norte, 90 na área Oeste e 224 na área Este.

Assumindo uma estratégia lógica, do ponto de vista económico, não é realista fazer-se um investimento inicial muito elevado, com o intuito de instalar um conjunto tão alargado de dispositivos, nomeadamente dado o facto dos mesmos não estarem ainda a ser produzidos em larga escala e a baixo custo. Uma solução mais realista, envolvendo a implementação progressiva desta tecnologia, seria a criação de zonas piloto dentro das duas áreas apontadas pelo estudo, com 2 a 3 Pelamis, à semelhança da opção tomada para o parque de ondas da Aguçadoura. Assim, poder-se-ia analisar, em pequena escala e *in loco*, as potencialidades reais das áreas supracitadas, e criar um modelo de todas as infraestruturas a implementar, com o intuito de testar esta tecnologia. Mas, para tal, convém perceber qual a capacidade energética dum dispositivo Pelamis a instalar.

De acordo com os dados disponíveis [76], um Pelamis de última geração (P2), com as dimensões atrás referidas, tem uma potência nominal de 750 kW (0,75 MW). Extrapolando essa capacidade para as 24 horas do dia e os 365 dias do ano, chega-se ao valor nominal de energia anual de $6,57 \times 10^6 \text{ kWh}$ (6,57 GWh). Apesar deste resultado ser positivo, nem tudo se revela tão próspero quanto parece, dado que o Pelamis não pode estar constantemente em produção, pois há que descontar os períodos de tempo inoperacional, devido a avarias, manutenção, ou mesmo pausas programadas. Para além disso, há que ter em consideração que o valor de 750 kWh só ocorre em condições óptimas de produção, isto é, quando todos os factores e condições ideais à produção estão reunidos, o que na maioria das vezes não se verifica.

Escolhendo a área a Norte (A1), junto à localidade de Ponta Delgada, como área de teste (visível na figura 7.1), convém perceber quais as condições aí existentes para a produção de energia. Nesse sentido, essa área apresenta uma variação modal anual do período de energia de 8,1 s (ver tabela anexa B.6) e uma variação modal anual da altura significativa de onda de 2,1 m (ver tabela anexa B.2).

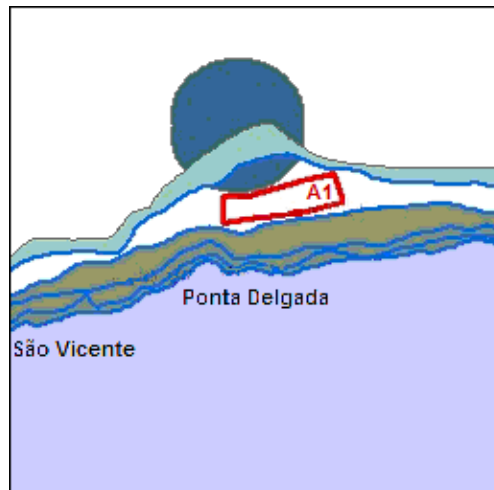


Fig. 7.1: Área de concessão ao largo da Ponta Delgada (A1), na costa Norte da ilha da Madeira.

Torna-se então possível prever qual a capacidade de produção de energia eléctrica por Pelamis, por ano, com base nos valores da tabela 7.1. Assim, observando os valores tabelados, a estimativa mais conservadora da energia gerada dá um valor de 152 kWh (correspondente a um período de 8,0 s com uma altura significativa de 2,0 m). Extrapolando essa capacidade para as 24 horas do dia e 300 dias no ano (para contabilizar o tempo de inactividade, devido a manutenção, ou outras causas), obtém-se o valor de $1,09 \times 10^6$ kWh (1,09 GWh), ou seja, pouco menos de um sexto do valor nominal de capacidade de produção eléctrica do Pelamis. Isto equivale a cerca de 0,12% da energia total produzida na Região Autónoma da Madeira no ano de 2006 (ver capítulo 2 para referência).

Tabela 7.1: Matriz de potência gerada (KW) para diferentes alturas significativas (m) e períodos de energia (s). Fonte: www.pelamiswave.com

Potência [KW]		Período de Energia (s)																
		5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10.0	10.5	11.0	11.5	12.0	12.5	13.0
Altura Significativa (m)	1.0		22	29	34	37	38	38	37	35	32	29	26	23	21			
	1.5	32	50	65	76	83	86	86	83	78	72	65	59	53	47	42	37	33
	2	57	88	115	136	148	153	152	147	138	127	116	104	93	83	74	66	59
	2.5	89	138	180	212	231	238	238	230	216	199	181	163	146	130	116	103	92
	3.0	129	198	260	305	332	340	332	315	292	266	240	219	210	188	167	149	132
	3.5		270	354	415	438	440	424	404	377	362	326	292	260	230	215	202	180
	4.0			462	502	540	546	530	499	475	429	384	366	339	301	267	237	213
	4.5			544	635	642	648	628	590	562	528	473	432	382	356	338	300	266
	5.0				739	726	731	707	687	670	607	557	521	472	417	369	348	328
	5.5				750	750	750	750	750	737	667	658	586	530	496	446	395	355
	6.0					750	750	750	750	750	750	711	633	619	558	512	470	415
	6.5					750	750	750	750	750	750	750	743	658	621	579	512	481
	7.0						750	750	750	750	750	750	750	750	676	613	584	525
	7.5							750	750	750	750	750	750	750	750	686	622	593
	8.0								750	750	750	750	750	750	750	750	690	625

Assim, a instalação na zona piloto de 3 Pelamis, produziria o equivalente a $3,28 \times 10^6$ kWh (3,28 GWh), ou seja, cerca de 0,35% da energia total produzida na Madeira em 2006. Numa fase pos-

terior, a instalação em média escala dum parque de ondas com 10 Pelamis, produziria cerca de $1,09 \times 10^7$ kWh (10,9 GWh), ou seja 1,15% da energia total produzida na Madeira no ano de 2006. Assumindo um cenário mais optimista, numa fase posterior de instalação em larga escala, que poderia chegar aos 40 dispositivos (lotando praticamente a capacidade da área Norte), a energia produzida chegaria aos $4,37 \times 10^7$ kWh (43,7 GWh), equivalente a 4,6% do total produzido na Madeira em 2006.

Este cenário optimista, não é totalmente descabido, pesando embora o facto de exigir um investimento elevado, a médio/longo prazo. Nesse sentido, há que ter em conta o custo de cada Pelamis. Actualmente o preço duma unidade ronda os 3 milhões de Euros (3 M€). Deste modo, o custo inicial para 3 Pelamis rondaria os 9 M€, aumentando progressivamente para os 30 M€ com 10 Pelamis e, posteriormente para os 120 M€ com a instalação final dos 40 dispositivos, ou seja, o cenário mais optimista. A estes custos haveria que adicionar as despesas associadas de manutenção e operação, e à criação de infra-estruturas de apoio (8% investimento) [8]. Fazendo uma estimativa por alto, o custo final poderia rondar os 130 M€, valor que, apesar de elevado, está muito abaixo dos custos associados a algumas obras públicas de vulto, com recurso a apoios estatais e subsídios comunitários.

Por outro lado, e como já se referiu no capítulo 2, as necessidades energéticas constantes no Anuário Estatístico da Região Autónoma da Madeira, para 2006, eram de $9,46 \times 10^2$ GW/ano. Considerando que a quantidade de energia produzida por queima de combustíveis fósseis ronda os $8,17 \times 10^2$ GW/ano, a energia produzida por 40 Pelamis, corresponderia a 5,3% desse valor. Analisando os custos de importação de combustíveis fósseis da R. A. Madeira, verifica-se que estes estão orçamentados em cerca de 3.150 M€. Desta forma, a produção energética do parque de ondas de 40 Pelamis corresponderia a um decréscimo de aproximadamente 167 M€ desse valor. Embora não seja um valor muito notável, já é significativo.

Todavia, pode ainda considerar-se um cenário de instalação dum número superior de dispositivos, considerando que ainda existe outra área de concessão possível, na zona Oeste. Esta área, de aproximadamente $6,33 \text{ km}^2$, pode ser dividida em duas áreas menores, uma mais próxima da Ponta do Pargo (A2), com cerca de $2,60 \text{ km}^2$, e outra mais próxima de Paúl do Mar (A3), com cerca de $3,73 \text{ km}^2$, como se pode observar na figura 7.2.

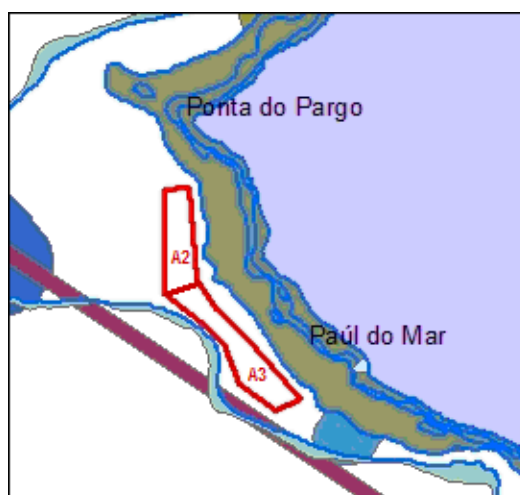


Fig. 7.2: Áreas de concessão ao largo da Ponta do Pargo (A2) e do Paúl do Mar (A3), a Oeste da Ilha da Madeira

Neste âmbito, observando os valores modais anuais de altura significativa e período de energia para a localidade da Ponta do Pargo, verifica-se que esta possui valores muito semelhantes aos de Ponta Delgada – 2,0 m e 8,0 s, respectivamente –, correspondendo a uma capacidade de produção energética de 152 kWh. Possui, no entanto, uma área de concessão um pouco menor, capaz de albergar, ainda assim, cerca de 37 Pelamis. Já a área próxima de Paúl do Mar, apresenta valores modais anuais de altura significativa e período de energia mais baixos – 1,4 m e 7,2 s, respectivamente –, correspondendo a uma capacidade de produção energética de 83 kWh. No entanto, consegue albergar cerca de 53 Pelamis, pois possui uma área maior.

Considerando, a utilização conjunta da totalidade da área Norte e da fracção próxima da Ponta do Pargo, da área Oeste, seria possível instalar 78 dispositivos. Desta forma, obtém-se uma capacidade de produção energética de $8,53 \times 10^7$ kWh (85 GWh), o que equivale a cerca de 8,9% da energia total produzida na Madeira no ano de 2006. Dada a existência doutra área de concessão possível, na zona Este, poderá pensar-se na instalação dum número superior de dispositivos. Essa área, com cerca de $15,7 \text{ km}^2$, situa-se entre o Porto da Cruz e o Ilhéu da Branca, de acordo com a figura 7.3.

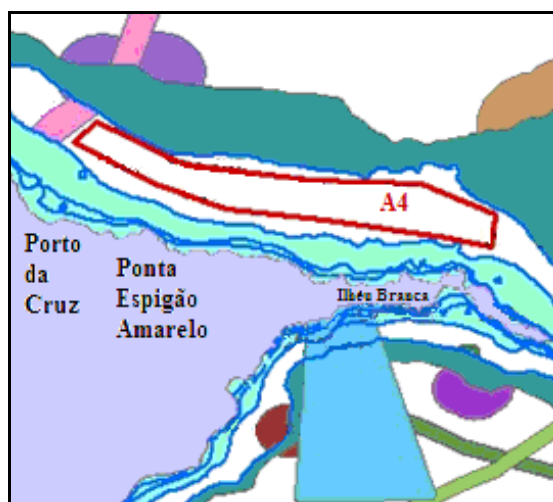


Fig. 7.3: Área de concessão ao largo da Ponta do Espigão Amarelo e do Ilhéu da Branca, a Este da Madeira.

Neste âmbito, observando os valores modais anuais de altura significativa e período de energia para as localidades do Porto da Cruz, da Ponta do Espigão Amarelo e do Ilhéu da Branca (**A4**), verifica-se que estas apresentam uma variação modal anual do período de energia de cerca de 7,5 s (ver tabela anexa B.6) e uma variação modal anual da altura significativa de onda de cerca de 2 m (ver tabela anexa B.2), correspondendo a uma capacidade de produção energética de 153 kWh. Como a área de concessão tem aproximadamente $15,7 \text{ km}^2$, possui capacidade para albergar cerca de 224 Pelamis, o que equivale a uma capacidade de produção energética acrescida de aproximadamente $2,47 \times 10^8$ kWh (247 GWh).

Somando esta capacidade à correspondente à exploração das outras duas áreas, anteriormente consideradas, obtém-se uma capacidade total aproximada de $3,32 \times 10^8$ (332 GWh), equivalente a 35,1% da energia total produzida na Madeira em 2006. Assim, a utilização de 302 Pelamis (78+224)

poderia contribuir, de forma substancial, para a redução da dependência energética da R. A. Madeira, mas, de acordo com os valores assumidos em parágrafos anteriores, o investimento em 302 dispositivos Pelamis rondaria os 980 M€ um valor que é inferior ao gasto anual da R. A. Madeira com a importação de combustíveis fósseis, em 2006. No entanto, essa verba, embora substancial, poderia ser aplicada de forma faseada, para o aumento gradual do parque de ondas da Madeira, reduzindo o impacto económico dos custos iniciais. Por outro lado, a redução da factura de consumo de combustíveis fósseis, rondaria aproximadamente os 1.106 M€, correspondendo a uma fracção de 35,1% dos 3.150 M€ gastos em 2006, com a importação de combustíveis. Assumindo ainda que o desenvolvimento tecnológico destes dispositivos pode vir a aumentar a sua capacidade de produção de energia eléctrica, não deixa de ser uma possibilidade a utilização eventual da totalidade das áreas de concessão propostas.

Outro dos factores de especial interesse é o facto de que o total da energia produzida pelo Pelamis poderia reduzir cerca de 35% à fracção de energia produzida pelas centrais térmicas (decréscimo de 86,25% para 51,25%), resultando daí uma diminuição de emissões de CO₂ para a atmosfera. Assim com a implementação desta tecnologia na Madeira iria-se reduzir em cerca de 480.000 toneladas as emissões de CO₂ por ano, contribuindo assim para a diminuição do efeito de estufa.

Não obstante as estimativas aqui apresentadas, para avaliar com maior precisão o contributo a médio/longo prazo desta fonte de energia, para o panorama económico insular, há que calcular o retorno do investimento efectuado. Nesse sentido, e dadas as incertezas actuais relativamente à economia do aproveitamento da energia das ondas, deve utilizar-se um modelo simples de análise económica, baseado no *método da anuidade* [8]. Neste caso, esse método será aplicado ao cálculo do custo unitário de potência instalada compatível com as condições de viabilidade económica, ou seja, aquele que permite que os proveitos suportem os encargos financeiros e de manutenção. O custo unitário de potência instalada, b_0 (em €/MW), é definido pela seguinte equação:

$$b_0 = \frac{hs}{x + \frac{i}{1 - (1 + i)^{-n}}} \quad (7.1)$$

em que: h representa o período (em horas) equivalente à potência nominal; s representa a tarifa de venda da energia; x representa os custos de operação e manutenção, como uma fracção do capital investido; i representa a taxa de juro aplicada ao investimento; n representa o período de amortização.

A tabela 7.2 sumariza os valores que serão considerados para as variáveis anteriores, considerando dois cenários prováveis. No primeiro cenário, e de acordo com os valores de tarifa apresentados na tabela 4.7, do capítulo 4, considera-se a exploração em fase pré-comercial dum parque de ondas com menos de 20 MW de potência instalada (casos dos parques com 3 e 10 Pelamis). No segundo cenário, considera-se a exploração em fase comercial dum parque de ondas com potência instalada entre 20 e 100 MW (casos dos parques com 50 e 100 Pelamis). Para uma melhor avaliação desta opção energética, é feita a comparação com os factores referentes a um parque de energia eólica, em fase de exploração comercial, com mais de 100 MW de potência instalada.

Em ambos os casos, admitiu-se um valor de referência de 1780 horas de funcionamento equivalente à potência nominal, e um custo anual de manutenção e operação de 8% do investimento, superior em 5% ao valor usado na energia eólica, devido à agressividade do ambiente marinho e ao sobre-custo associado às operações no mar. Para taxa de juro adoptou-se o valor médio de 3%, com um período de amortização de 10 anos. O cálculo do valor de referência para o período equivalente à potência nominal foi efectuado da seguinte forma: considerando a potência estimada para a área de concessão a Norte (152kW), determinou-se a razão entre esse valor e a potência nominal do Pelamis (750kW), obtendo-se o quociente de 0,20. Aplicando esse valor aos 365 dias do ano, obtêm-se 74 dias de funcionamento equivalente à potência nominal. Multiplicando pelas 24 horas do dia, obtém-se o valor final de 1775 horas, que se arredondou para 1780 horas. Para o parque eólico, usou-se um valor de referência de 2190 horas, uma taxa de juro de 3%, e um período de amortização de 9 anos [8]. Esses valores também foram aplicados neste cálculo.

Tabela 7.2: Valores aplicáveis aos factores do custo unitário de potência instalada, para a energia das ondas, em dois cenários. Incluem-se valores para a energia eólica, para comparação. Fonte: Sarmento e Cruz, 2004 [8]

Factores	Ondas (< 20 MW)	Ondas (20 a 100 MW)	Eólica (> 100 MW)
<i>n</i> – período amortização [anos]	10	10	9
<i>i</i> – taxa de juro [%]	3	3	3
<i>x</i> – custo operação e manutenção [%]	8	8	3
<i>h</i> – horas func. pot. nominal [horas]	1780	1780	2190
<i>s</i> – tarifa energética [€/kWh]	0,18	0,12	0,08
<i>b_o</i> – investimento máximo [€/kWh]	1624	1083	1106

Pelos valores finais da tabela 7.2, percebe-se que o investimento num parque de ondas é mais compensador para um número considerável de dispositivos (1080 €/kWh), comparativamente a um parque eólico (1100 €/kWh), cuja tecnologia se encontra actualmente mais amadurecida. Assim, este cenário favorece a implementação dum parque de ondas em larga escala, para minimizar os custos de potência unitária instalada. Por outro lado, considerando a possibilidade de diminuição dos custos de produção e manutenção dos dispositivos Pelamis, é espectável que o capital de investimento necessário venha a diminuir ainda mais, bem como o custo de produção energética por kWh.

Há ainda a salientar que os próprios governos podem disponibilizar incentivos à produção de energia proveniente destas novas tecnologias. Exemplo disso, são os preços que o governo pode vir a atribuir à produção energética, nomeadamente na fase pré-comercial e, mais tarde, na fase de produção (0,18 e 0,12 euros/kWh, respectivamente), o que revela a aposta e o crescente interesse neste tipo de tecnologias. Assim, aliando estes incentivos a uma estratégia de implementação gradual dos dispositivos nos parques de ondas, poderá ser possível equilibrar os gastos efectuados e obter uma relação cus-

to/benefício favorável à aplicação da tecnologia Pelamis, a médio/longo prazo. Para terminar, apresentam-se as figuras 7.4 a 7.9, que ilustram as localidades das áreas de concessão.

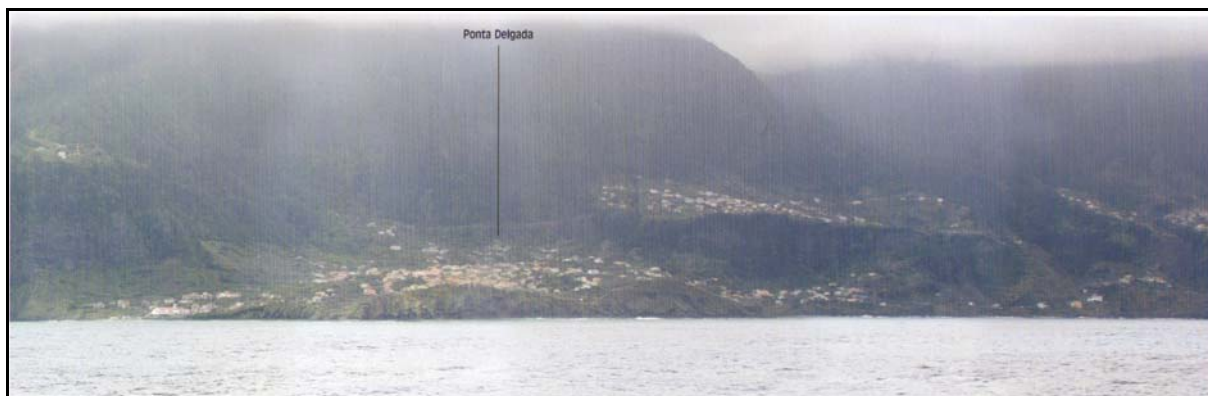


Fig. 7.4: Imagem da localidade de Ponta Delgada (área de concessão A1), na costa Norte da Madeira.

Fonte: Instituto Hidrográfico, 2009 [47]



Fig. 7.5: Imagem da localidade da Ponta do Pargo (área de concessão A2), na costa Oeste da Madeira.

Fonte: Instituto Hidrográfico, 2009 [47]

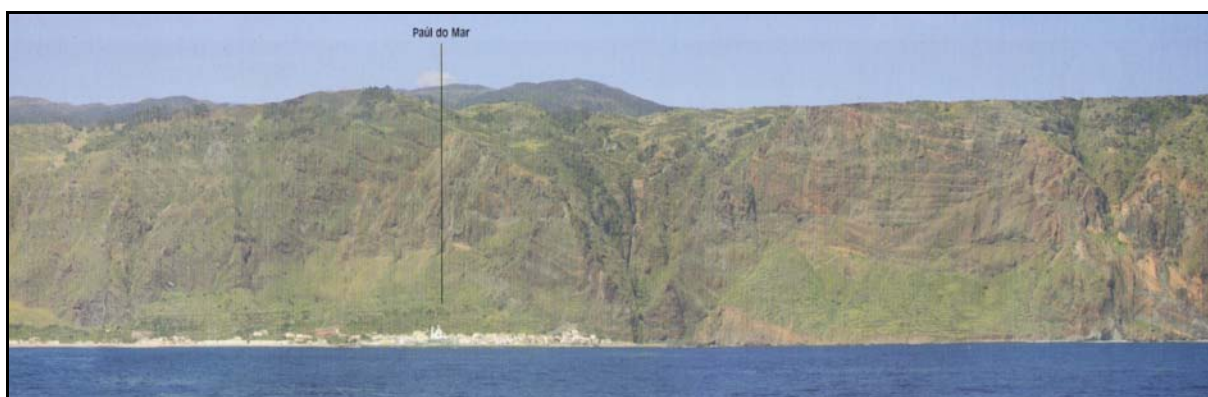


Fig. 7.6: Imagem da localidade do Paúl do Mar (área de concessão A3), na costa Oeste da Madeira.

Fonte: Instituto Hidrográfico, 2009 [47]

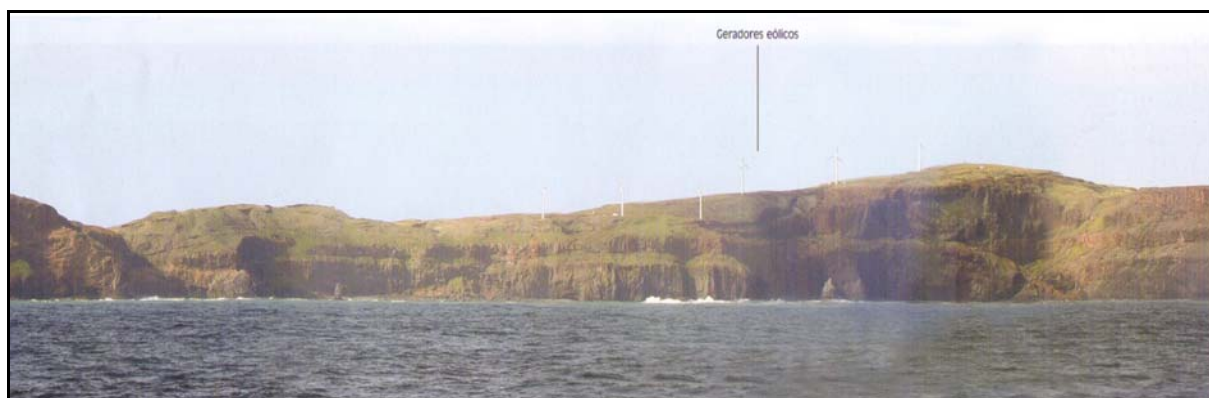


Fig. 7.7: Imagem da localidade do Ilhéu da Branca (área de concessão A4), na costa Este da Madeira.

Fonte: Instituto Hidrográfico, 2009 [47]

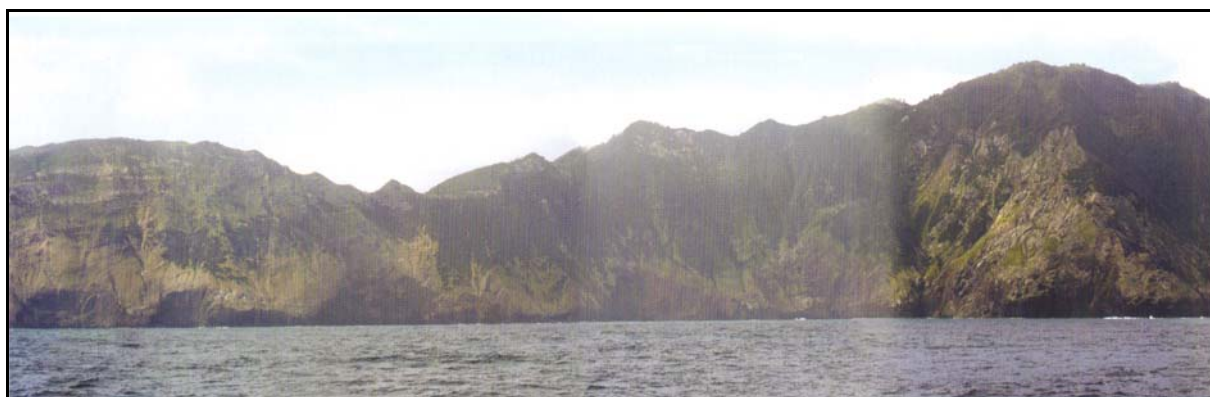


Fig. 7.8: Imagem da localidade da Ponta do Espigão Amarelo (área de concessão A4), na costa Este da

Madeira. Fonte: Instituto Hidrográfico, 2009 [47]



Fig. 7.9: Imagem da localidade do Porto da Cruz (área de concessão A4), na costa Este da Madeira.

Fonte: Instituto Hidrográfico, 2009 [47]

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dados os avanços tecnológicos e as carências energéticas há que desenvolver tecnologias que visem colmatar as sempre crescentes exigências que a cada dia que passa são cada vez maiores, no que concerne à energia. A tecnologia Pelamis é uma resposta a essas exigências no sentido em que, apesar de ser recente e estar ainda em fase de desenvolvimento, apresenta inúmeras potencialidades, logo a tendência é que a mesma venha a ser melhorada com o passar dos anos.

Este trabalho visou sobretudo a identificação das áreas adequadas à implementação dessa tecnologia. Uma vez que os estudos nesta área são escassos a tarefa de realizar este trabalho foi ainda mais dificultada. Através da compilação de toda a informação necessária e do seu tratamento no software ArcGis 9.3, foi possível determinar a localização possível das áreas para uma eventual instalação de uma zona piloto, para a implementação desta ou outras tecnologias flutuantes geradoras de energia.

Deste modo é possível concluir que as áreas a Norte (entre a Ponta Delgada e a Ponta de São Jorge), Oeste (entre o Paúl do Mar e a Ponta do Pargo) e Este (entre a Porto da Cruz e o Ilhéu da Branca), são as áreas mais favoráveis à implementação da tecnologia, uma vez que não são afectadas por qualquer tipo de restrição e nos critérios de ponderação estas apresentam valores mais baixos o que é sinónimo de localizações óptimas. No entanto, há que ter em conta outros factores no que concerne à escolha do local, não os cingindo meramente às condicionantes físico – ambientais. Tenha-se em consideração as alterações de carácter legislativo que este tipo de iniciativas requer, dado tratar-se duma tecnologia nova, com poucos antecedentes.

A nível económico, o breve estudo de viabilidade económica apresentado neste trabalho, revelou que a estratégia mais favorável à implementação da tecnologia Pelamis é o desenvolvimento por fases. Nesse contexto, deve começar-se por estabelecer uma zona piloto para testes *in loco* da tecnologia, como no caso do parque de ondas da Aguçadoura, e adicionar-se, gradualmente, novos dispositivos, até se atingir uma produção energética em larga escala. O impacto energético de cada dispositivo ronda os 0,12% da energia total produzida na Região Autónoma da Madeira no ano de 2006, com um investimento de 3 M€ por unidade. O valor de impacto energético, embora reduzido, poderá ser mais significativo no caso de produção em larga escala. A esse nível, a instalação de 302 Pelamis, numa fase final, terá um impacto energético de 35,1% da energia total produzida na Região Autónoma da Madeira no ano de 2006, correspondente a um investimento total de aproximadamente 980 M€. De acordo com o nível de produção energética assumido, a redução na factura de importação de combustíveis fósseis, para obtenção de energia eléctrica, seria de 36,2 M€/ano com 10 dispositivos, 167 M€/ano com 40, e 1.106 M€/ano com 302 Pelamis.

A nível ambiental, a utilização desta forma de energia renovável poderia contribuir de forma significativa para a redução das emissões de CO₂ para a atmosfera. Todas estas estruturas teriam um impacte visual bastante diminuto, devido à sua mobilidade que lhes permitem mover-se de acordo com a ondulação marítima. Teriam também um impacte mínimo na perturbação da fauna marinha, tendo

como ponto positivo o poder de atrair determinadas espécies e criar pontos de fixação a diversas espécies de fauna e flora.

Espera-se que o presente trabalho seja mais um contributo para a instalação de novas tecnologias de produção de energia com base em recursos renováveis como a energia das ondas. Por outro lado, há que referir a novidade deste tipo de estudos, nomeadamente para a Região Autónoma da Madeira. Desta forma, pretende-se que este trabalho constitua um incentivo para futuros trabalhos de outros autores neste domínio, que contribuam de forma positiva para um desenvolvimento energético mais sustentável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Barros, R. (2009). “*A Ciência e os Oceanos*”, Workshop Centro de Ciência Viva de Vila do Conde, Agência Nacional para a Cultura Científica e Tecnológica, Vila do Conde, Portugal.
- [2] Bueche, F. (1983). “*Física Geral*”, Ed. McGraw Hill do Brasil Lda., Rio de Janeiro, Brasil.
- [3] Canadell, J., Quéré, C., Raupach, M., Field, C., Buitenhuis, E., Ciais, P., Conway, T., Gillett, P., Houghton, A., Marland G. (2007). “*Contributions to accelerating atmospheric CO₂ growth from economic activity, carbon intensity, and efficiency of natural sinks*”, Proceedings of the National Academy of Sciences, United States of America.
- [4] Candelária, A. (2008). “*Assessing the development of wave energy in Portugal, with GIS support*”, Tese de Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, Portugal.
- [5] Cardoso, F (2009). “*O desafio das alterações climáticas – Workshop 1*”, Direcção Regional dos Assuntos Europeus e da Cooperação Externa, Região Autónoma da Madeira, Bruxelas, Bélgica. Disponível em: http://ec.europa.eu/regional_policy/conferences/rup2008/pres/work1/cardoso.pdf.
- [6] Carvalho, A., Brandão, J.(1991). “*Geologia do Arquipélago da Madeira*”, 1ª Edição, Museu Nacional de História Nacional, Lisboa, Portugal.
- [7] Collares, M. (1998). “*Energias renováveis, a opção inadiável*”, Edições da Sociedade Portuguesa de Energia Solar, Sociedade Portuguesa de Energia Solar, Lisboa, Portugal.
- [8] Cruz, J., Sarmiento, A. (2004). “*Energia das Ondas: Introdução aos Aspectos Tecnológicos, Económicos e Ambientais*”, Instituto do Ambiente, Lisboa, Portugal.
- [9] Duxbury, A. C., Duxbury, A. B., and Sverdrup, A. (2000). “*An introduction to the World's Oceans*”, Mc Graw Hill, Capítulo 9.
- [10] Farelo, C. (2003). “*Projecto de Instalação de uma Central de Ondas para Produção de Energia*”, Relatório de Estágio, Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias, Lisboa, Portugal.
- [11] Fay, J., Golomb, D. (2002). “*Energy and The Environment*”, First Edition, Oxford University Press, Nova Iorque, Estados Unidos da América.
- [12] Ferreira, A., Ferreira, D., Medeiros, C., Moreira, M., Neto, C., Ramos, C., (2005). “*Geografia de Portugal 1: O Ambiente Físico*”, 1ª Edição, Círculo de Leitores e Autores, Lisboa, Portugal.
- [13] Garrison, T. (2001). “*Essentials of Oceanography*”, Second Edition. Brooks College, Pacific Grove, CA.
- [14] Gaspar, J. (1993). “*Introdução à Oceanografia Física*”, Escola Naval, Lisboa, Portugal.
- [15] Girão, A. (1951). “*Geografia de Portugal*”, 2ª Edição, Portucalense Editora, Porto, Portugal.
- [16] Guedes, A. (1999). “*Direito do mar*”, 2ª Edição, Coimbra Editora, Coimbra, Portugal.
- [17] Kinsman, B. (1965). “*Wind Waves: Their Generation and Propagation on the Ocean Surface*”, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 23.

- [18] Melo, A. (2009), “*Portuguese Pilot Zone*”, Seminário Energika 2009, Oslo, Norway. Disponível em: http://www.wavec.org/client/files/Portuguese_pilotzone_2009.pdf.
- [19] Nobre, A., Pacheco, M., Jorge, R., Lopes, M., Gato, L. (2009). “*Geo-Spatial multi-criteria analysis for wave energy conversion system deployment*”, Instituto Hidrográfico/ Instituto Superior Técnico, Renewable Energy 34, 97 – 111.
- [20] Pontes, M.T., Pires, H., Aguiar, R., Gonçalves, M., Cândido, J., Aguiar, R., Oliveira, F. (2007). “*ONDATLAS: Verificação do Modelo Utilizado. Caracterização do Estado do Mar*”, Agência Regional de Energia e Ambiente da Região Autónoma da Madeira. Madeira, Portugal. Disponível em: http://www2.arem.pt/ondatlas/PDF/ONDATLAS_Report.pdf.
- [21] Quéré, C., Raupach, M., Ciais, P., Conway, T., Field, C., Houghton, S., Marland, G., Canadell, P. (2008). “*Carbon Budget and Trends 2007*” – Global Carbon Project, Camberra, Austrália.
- [22] Raupach, M., Marland, G., Ciais, P., Quéré, C., Canadell, J., Klepper, G., Field, C. (2007). “*Global and regional drivers of accelerating CO2 emission*”, Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, United States of America.
- [23] Resende, P. (1998). “*Caracterização energética das ondas marítimas e estudo dos problemas de refração no seu aproveitamento*”, Tese de Doutoramento em Engenharia Mecânica, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal.
- [24] Ribeiro, O. (1985). “*A Ilha da Madeira Até Meados Do Século XX*”, 1ª Edição, Instituto de Cultura e Língua Portuguesa, Ministério da Educação, Lisboa, Portugal.
- [25] Rodrigues, B. (2008). “*Energia das Ondas: Legislação e perspectivas de negócio*”. Seminário WavEC, Museu da Electricidade. Lisboa, Portugal. Disponível em http://www.wavec.org/client/files/Bruno_Azevedo_Rodrigues.pdf.
- [26] Rodrigues, A., Oliveira, A., Fonseca, R., Taborda, R., Cascalho, J. (2005). “*Sedimentary Dynamics of the Southern Shelf of Madeira (Portugal)*”, Proceedings of the 8th International Coastal Symposium Journal of Coastal Research SI 39, 454 – 458, Itajaí, SC, Brazil.
- [27] Rousseau, N. (2008). “*Marine Renewables in the future energy system: an European perspective*”, Seminário Wave Energy Centre 2008, Museu da Electricidade, Lisboa, Portugal. Disponível em: http://www.wavec.org/client/files/Nathalie_Rousseau.pdf, consultado a 9 de Janeiro de 2009.
- [28] Rousseaux, P., Apostol, T. (2000). “*Valeur environnementale de l'énergie*”, 1^{ère} Edition, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne, Suíça.
- [29] Santos, L. (2006). “*Observação de Ondas Internas Não Lineares Geradas sobre o Canhão Submarino da Nazaré*”, Tese de Mestrado em Ciências Geofísicas – Oceanografia, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal.
- [30] Santos, F., Aguiar, R. (2006). “*Impactos e Medidas de Adaptação às Alterações Climáticas no Arquipélago da Madeira*”, Projecto CLIMAAT II, Direcção Regional do Ambiente da Madeira, Funchal.
- [31] Sarmiento, A. (2008). “*Cinco anos de actividades do WavEC*”, Seminário Wave Energy Centre, Museu da Electricidade. Lisboa, Portugal. Disponível em: http://www.wavec.org/client/files/Antonio_Sarmiento.pdf, consultado a 9 de Janeiro de 2009.
- [32] Thurman, H. V. (1997). “*Introductory Oceanography*”, 8th Edition, New Jersey: Prentice Hall.

- [33] Vários, (1990), “*Roteiro da Costa de Portugal*”, 2ª Edição, Instituto Hidrográfico, Lisboa, Portugal.
- [34] Vários (1991), “*Waves Tides and Shallow-water processes*”, Pergamon Press, The Open University, England (Oxford).
- [35] Vários, (2001), *Fórum “Energias Renováveis em Portugal” – Relatório Síntese*, Agência Para A Energia / Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação, Lisboa, Portugal.
- [36] Vários, (2003). “*Dinâmica sedimentar da costa sul da ilha da Madeira*” – Relatório Técnico, REL. TF.GM 02/03. 163pp (não publicado), Instituto Hidrográfico, Lisboa, Portugal.
- [37] Vários, (2005), “*Wave Hub Technical Feasibility Study – Final Report*”, Halcrow, South West of England Regional Development Agency.
- [38] Vários (2006). “*Ocean waves and wave energy device design*” – Relatório Técnico, Carbon Trust , Reino Unido.
- [39] Vários (2007), “*Caracterização da Rede de Transporte e Distribuição em Média Tensão e Alta Tensão*”. Empresa da Electricidade da Madeira, Funchal, Portugal
- [40] Vários (2007), “*Climate Change 2007: Synthesis Report, Summary for Policymakers*”, Fourth Assessment Report, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Geneva, Suíça. Disponível em [http:// www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_spm.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_spm.pdf).
- [41] Vários (2008). “*Anuário Estatístico da Região Autónoma da Madeira – 2007*”, Direcção Regional de Estatística da Madeira, Funchal. Portugal.
- [42] Vários (2008). “*Caracterização da Rede de Transporte e Distribuição em Média Tensão e Alta Tensão*”, Empresa da Electricidade da Madeira, Funchal, Portugal.
- [43] Vários, (2008) “*International Energy Outlook 2008*” Energy Information Administration, U.S. Department of Energy, Washington, DC.
- [44] [Vários (2008). “*Key World Energy Statistics 2008*”, International Energy Agency, Paris, França. Disponível em: http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2008/key_stats_2008.pdf, consultado em 7 de Dezembro de 2008.
- [45] Vários (2008). “*Relatório do Estado do Ambiente 2007 – Versão Preliminar*”, Agência Portuguesa do Ambiente, Amadora, Portugal.
- [46] Vários, (2008). “*Renewable Energy Scenario to 2040*”, Synthesis Report, European Renewable Energy Council, Brussels
- [47] Vários (2009). “*Roteiro da Costa de Portugal, Arquipélago da Madeira*”, 4ª Edição, Instituto Hidrográfico, Lisboa, Portugal.
- [48] Vários (2009). “*World Energy Outlook 2008*”, International Energy Agency, Paris, France.
- [49] Xavier, A. (2009), “*Tecnologias do Ambiente – n 87*”, ITA Tecnologias do Ambiente, Instituto de Ciências e Tecnologia do Ambiente, Lisboa, Portugal.

- [50] *Decisão n.º280/2004/CE do Parlamento Europeu e do Conselho* de 11 de Fevereiro de 2004, Jornal Oficial da União Europeia, de 19 de Fevereiro de 2004.
- [51] *Despacho conjunto n.º 686-E/2005*. Diário da República, 2ª Série, N.º 176, de 13 de Setembro de 2005.
- [52] *Decreto-Lei n.º 71/2006*. Diário da República, 1ª Série-A, N.º 60, de 24 de Março de 2006.
- [53] *Resolução do Conselho de Ministros n.º 119/2004*. Diário da República, 1ª Série-B, N.º 179, de 31 de Julho de 2004.
- [54] *Resolução do Conselho de Ministros n.º 53/2005*. Diário da República, 1ª Série-B, N.º 44, de 3 de Março de 2005.
- [55] *Resolução do Conselho de Ministros n.º 59/2005*. Diário da República, 1ª Série-B, N.º 47, de 8 de Março de 2005.
- [56] *Resolução do Conselho de Ministros n.º 68/2005*. Diário da República, 1ª Série-B, N.º 54, de 17 de Março de 2005.
- [57] *Resolução do Conselho de Ministros n.º 169/2005*. Diário da República, 1ª Série-B, N.º 204, de 24 de Outubro de 2005.
- [58] *Resolução do Conselho de Ministros n.º 33/2006*. Diário da República, 1ª Série-B, N.º 60, de 24 de Março de 2006.
- [59] *Resolução do Conselho de Ministros n.º 104/2006*. Diário da República, 1ª Série-B, N.º 162, de 23 de Agosto de 2006.
- [60] “*Linha de Costa*”, Instituto do Ambiente, Agência Portuguesa do Ambiente. Disponível em: http://www.iamambiente.pt/atlas/est/index.jsp?zona=madeira.m0&grupo=madeira.m0&tema=m0_lco sta, consultado a 9 de Abril de 2009.
- [61] “*Aquatic Renewable Energy Technologies*”. Ferramenta de E-learning. Programa Leonardo da Vinci da União Europeia. Disponível em <http://www.aquaret.com/index.php?lang=pt>, consultado a 20 Janeiro de 2009.
- [62] “*Atlas de Ondas da Madeira: Descrição Geral, Conteúdo e Operação*”. Agência Regional de Energia e Ambiente da Região Autónoma da Madeira. Disponível em: <http://www2.arem.pt/ondatlas/overview.htm>, consultado a 10 de Dezembro de 2008.
- [63] “*Atlas de Ondas da Madeira: Fundamentos*”. Agência Regional de Energia e Ambiente da Região Autónoma da Madeira. Disponível em: <http://www2.arem.pt/ondatlas/base1.htm>, consultado a 17 de Dezembro de 2008.
- [64] “*Batimetria da costa da R. A. Madeira, com linhas isobatimétricas*”, Disponível em: <http://www.hidrografico.pt/cartografia-nautica-nacional.php>, consultado a 30 Março de 2009.
- [65] “*Bóias ondógrafo do Funchal e do Caniçal*”. Instituto Hidrográfico. Disponível em: <http://www.hidrografico.pt/boias-ondografo.php>, consultado a 5 Abril de 2009.
- [66] “*Boletim Informativo da Vice-Presidência Governo Regional da Madeira*”. Disponível em: http://vp.gov-madeira.pt/pdf/boletim/VP28_net.pdf, consultado a 5 Março de 2009.
- [67] “*Boletim Informativo da Vice-Presidência Governo Regional da Madeira*”. Disponível em: http://vp.gov-madeira.pt/pdf/boletim/VP30_net.pdf, consultado a 5 de Março de 2009.

- [68] “*Boletim Informativo da Vice-Presidência Governo Regional da Madeira*”. Disponível em: http://vp.gov-madeira.pt/pdf/boletim/VP31_net.pdf, consultado a 5 de Março de 2009.
- [69] “*Caracterização energética Nacional*”. Direcção Geral de Energia e Geologia, Ministério da Economia e da Inovação. Disponível em: <http://www.dgge.pt?cn=77387764AAAAA>, consultado a 7 de Janeiro de 2009.
- [70] “*Circulação das correntes que contornam as ilhas pelos extremos, agrupando-se a Sul*”. Disponível em: http://visibleearth.nasa.gov/view_rec.php?id=5575, consultado a 10 de Janeiro de 2009.
- [71] “*Energia, Ambiente e Desenvolvimento Sustentável*”. Direcção Geral de Energia e Geologia, Ministério da Economia e da Inovação. Disponível em: <http://www.dgge.pt?cn=77387766AAAAA>, consultado a 6 de Janeiro de 2009.
- [72] “*Estatísticas – indicadores energéticos*”. Direcção Geral de Energia e Geologia, Ministério da Economia e da Inovação. Disponível em: <http://www.dgge.pt/>, consultado a 12 de Dezembro de 2008.
- [73] “*Estatísticas – indicadores energéticos*”. Direcção Geral de Energia e Geologia, Ministério da Economia e da Inovação. Disponível em: <http://www.dgge.pt?cn=6891700270677157AAAAA>, consultado a 5 de Janeiro de 2009.
- [74] “Gaps between 2010 projections and Kyoto target “ Disponível em: <http://data.service.eea.europa.eu/atlas/viewdata/viewpub.asp?id=3895>, consultado a 25 de Janeiro de 2009.
- [75] “*Global Carbon Project*”. Disponível em: <http://www.globalproject.org/carbontrends/index.htm>, consultado a 12 de Fevereiro de 2009.
- [76] “*Pelamis Wave Power* ”. Disponível em: <http://www.pelamiswave.com>, consultado a 10 de Abril de 2009.
- [77] “*Marine Renewable Energy in Portugal – Technology, State of the Art and Business Opportunities*”. Seminário 2008. Wave Energy Center. Disponível em: <http://www.wavec.org/index.php/55/work-shop-2008-maritime-energy/>, consultado a 7 de Janeiro de 2009.
- [78] “*Trends in Atmospheric Carbon Dioxide - Mauna Loa*”. Mauna Loa Observatory. Disponível em: <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>, consultado a 8 de Janeiro de 2009.

Anexo A

Tabela A.1: Coordenadas geográficas dos pontos de medição da agitação marítima, em redor da costa da Ilha da Madeira. Fonte: <http://www2.arem.pt/ondatlas/madeira.htm>

Localidades	Latitude (°N)	Longitude (°W)	Profundidade (m)
Ponta do Pargo	32° 48,6'	17° 16,3'	40
Achadas da Cruz	32° 51,3'	17° 13,7'	39
Ponta do Tristão	32° 52,5'	17° 11,8'	41
Porto do Moniz	32° 51,9'	17° 9,5'	38
Ponta Contreiras	32° 50,1'	17° 7,7'	38
Seixal	32° 49,5'	17° 5,9'	42
São Vicente	32° 49,1'	17° 2,3'	42
Ponta Delgada	32° 50,3'	16° 59,0'	41
Ponta de São Jorge	32° 50,4'	16° 53,9'	40
Ponta do Clérigo	32° 48,1'	16° 50,4'	42
Faial	32° 47,7'	16° 49,9'	40
Porto da Cruz	32° 46,7'	16° 48,5'	40
Ponta Esp. Amarelo	32° 46,2'	16° 46,9'	42
Ilhéu de Branca	32° 45,3'	16° 41,2'	39
São Lourenço	32° 44,0'	16° 39,3'	40
Enseada	32° 43,9'	16° 41,3'	38
Canical	32° 43,9'	16° 43,6'	43
Machico	32° 43,3'	16° 45,0'	40
Aeroporto	32° 41,7'	16° 46,1'	40
Ponta do Garajau	32° 38,4'	16° 50,7'	38
Funchal	32° 38,7'	16° 54,1'	38
Câmara de Lobos	32° 38,5'	16° 58,7'	38
Ribeira Brava	32° 39,9'	17° 4,1'	39
Ponta do Sol	32° 40,4'	17° 6,2'	41
Calheta	32° 42,8'	17° 10,3'	38
Paúl do Mar	32° 44,5'	17° 14,1'	43

Anexo B

Tabela B.1: Média (Méd.) e desvio padrão (D.P.) da variação anual da altura significativa (m). Fonte: <http://www2.areas.pt/ondatlases/madeira.htm>

Mês Localidade	Janeiro		Fevereiro		Março		Abril		Maio		Junho		Julho		Agosto		Setembro		Outubro		Novembro		Dezembro		Anual	
	Méd.	D.P.	Méd.	D.P.	Méd.	D.P.	Méd.	D.P.	Méd.	D.P.	Méd.	D.P.	Méd.	D.P.	Méd.	D.P.	Méd.	D.P.	Méd.	D.P.	Méd.	D.P.	Méd.	D.P.	Méd.	D.P.
Ponta do Pargo	3,0	1,4	2,5	1,0	2,6	1,1	2,3	0,7	2,6	1,1	1,7	0,5	1,7	0,4	1,5	0,4	1,8	0,6	2,2	0,9	2,5	1,1	2,7	1,3	2,2	1,0
Achadas da Cruz	3,2	1,6	2,7	1,2	2,7	1,2	2,5	0,8	2,1	0,7	1,8	0,5	1,8	0,5	1,6	0,5	1,9	0,6	2,3	0,9	2,6	1,1	2,9	1,4	2,3	1,1
Ponta do Tristão	3,3	1,6	2,9	1,1	2,8	1,2	2,6	0,8	2,1	0,7	1,9	0,6	1,9	0,5	1,8	0,5	1,9	0,6	2,3	0,9	2,7	1,1	3,0	1,3	2,4	1,1
Porto do Moniz	2,4	1,0	2,2	0,8	2,2	0,9	2,1	0,7	1,7	0,6	1,7	0,6	1,8	0,5	1,6	0,5	1,6	0,6	1,8	0,6	2,1	0,8	2,2	0,9	2,0	0,8
Ponta das Contreiras	1,9	0,9	1,9	0,8	2,0	0,9	1,9	0,7	1,5	0,6	1,6	0,6	1,6	0,6	1,5	0,5	1,5	0,6	1,7	0,6	1,8	0,8	1,8	0,8	1,8	0,7
Seixal	2,3	1,1	2,1	0,9	2,3	1,0	2,1	0,8	1,7	0,7	1,7	0,6	1,8	0,5	1,6	0,5	1,7	0,6	1,9	0,7	2,1	0,9	2,1	0,9	1,9	0,8
São Vicente	2,7	1,3	2,5	1,0	2,6	1,1	2,4	0,9	1,9	0,7	1,8	0,6	1,9	0,6	1,7	0,5	1,8	0,6	2,1	0,8	2,4	1,1	2,5	1,1	2,2	1,0
Ponta Delgada	2,9	1,5	2,6	1,0	2,6	1,1	2,4	0,8	1,9	0,7	1,8	0,6	1,9	0,5	1,7	0,5	1,8	0,6	2,1	0,8	2,5	1,1	2,6	1,2	2,2	1,0
Ponta de São Jorge	3,0	1,5	2,7	1,0	2,7	1,1	2,4	0,8	2,0	0,7	1,8	0,6	1,9	0,5	1,7	0,5	1,9	0,6	2,2	0,8	2,6	1,0	2,7	1,2	2,3	1,0
Ponta do Clérigo	2,2	0,9	2,1	0,8	2,2	0,9	2,1	0,7	1,6	0,6	1,6	0,6	1,8	0,5	1,6	0,5	1,6	0,6	1,8	0,6	2,0	0,8	2,1	0,8	1,9	0,7
Faial	2,1	0,9	2,1	0,8	2,2	0,9	2,0	0,7	1,6	0,6	1,6	0,6	1,8	0,5	1,6	0,5	1,6	0,6	1,8	0,6	2,0	0,8	2,0	0,8	1,9	0,7
Porto da Cruz	2,1	0,9	2,0	0,8	2,2	0,9	2,0	0,7	1,6	0,6	1,6	0,6	1,8	0,5	1,6	0,5	1,6	0,6	1,8	0,6	2,0	0,8	2,0	0,8	1,9	0,7
Ponta Esp. Amarelo	2,2	1,0	2,1	0,8	2,3	0,9	2,1	0,7	1,7	0,6	1,7	0,6	1,8	0,5	1,6	0,5	1,7	0,6	1,9	0,7	2,1	0,9	2,1	0,8	1,9	0,8
Ilhéu de Branca	2,7	1,1	2,4	0,9	2,5	1,0	2,3	0,8	1,8	0,7	1,7	0,6	1,9	0,5	1,7	0,5	1,8	0,6	2,1	0,7	2,3	0,9	2,5	0,9	2,0	0,8
São Lourenço	2,5	1,0	2,3	0,8	2,4	0,8	2,2	0,7	1,7	0,6	1,7	0,6	1,8	0,5	1,6	0,5	1,7	0,6	2,0	0,6	2,2	0,8	2,4	0,8	2,1	0,9
Enseada	1,9	0,8	1,6	0,6	1,6	0,6	1,4	0,5	1,2	0,4	1,0	0,3	1,1	0,3	1,0	0,3	1,1	0,4	1,4	0,5	1,6	0,6	1,8	0,7	1,4	0,6
Canical	1,3	0,6	1,1	0,4	1,2	0,4	1,0	0,4	0,8	0,3	0,7	0,3	0,8	0,3	0,7	0,3	0,8	0,3	0,9	0,4	1,1	0,4	1,3	0,6	1,0	0,5
Machico	1,2	0,5	1,1	0,4	1,1	0,4	1,0	0,4	0,8	0,3	0,7	0,3	0,8	0,3	0,7	0,3	0,7	0,3	0,9	0,4	1,1	0,4	1,2	0,5	0,9	0,4
Aeroporto	1,4	0,6	1,2	0,5	1,3	0,5	1,1	0,5	0,9	0,4	0,8	0,3	0,9	0,3	0,8	0,3	0,8	0,4	1,0	0,4	1,2	0,4	1,4	0,6	1,1	0,5
Ponta do Garajau	1,6	0,8	1,4	0,5	1,4	0,6	1,2	0,4	1,0	0,5	0,8	0,3	0,8	0,2	0,7	0,2	0,8	0,4	1,1	0,6	1,3	0,5	1,6	0,9	1,1	0,6
Funchal	1,3	0,8	1,0	0,5	1,1	0,6	0,9	0,3	0,8	0,5	0,6	0,2	0,6	0,2	0,5	0,2	0,6	0,3	0,9	0,6	1,1	0,5	1,3	0,9	0,9	0,6
Câmara de Lobos	1,6	0,8	1,3	0,5	1,3	0,6	1,1	0,4	1,0	0,5	0,7	0,3	0,7	0,2	0,6	0,1	0,8	0,3	1,1	0,6	1,3	0,6	1,6	0,9	1,1	0,6
Ribeira Brava	1,8	0,9	1,4	0,6	1,4	0,7	1,2	0,4	1,1	0,5	0,8	0,3	0,7	0,2	0,7	0,2	0,8	0,4	1,2	0,6	1,4	0,6	1,7	1,0	1,2	0,7
Ponta do Sol	1,8	0,9	1,4	0,6	1,4	0,7	1,2	0,4	1,1	0,5	0,8	0,3	0,7	0,2	0,7	0,2	0,8	0,4	1,2	0,6	1,4	0,6	1,7	1,0	1,2	0,7
Calheta	1,5	0,8	1,2	0,5	1,2	0,6	1,0	0,4	1,0	0,5	0,7	0,3	0,6	0,1	0,6	0,1	0,7	0,3	1,0	0,6	1,2	0,6	1,5	0,9	1,0	0,6
Paúl do Mar	2,2	1,0	1,8	0,8	1,8	0,8	1,5	0,5	1,4	0,6	1,1	0,3	1,0	0,2	0,9	0,2	1,2	0,4	1,5	0,7	1,8	0,8	2,1	1,1	1,5	0,8

Tabela B.2: Mínimo (Min.), moda e máximo (Máx.) da variação anual da altura significativa (m). Fonte: <http://www2.areas.pt/ondatlas/madeira.htm>

Mês Localidade	Janeiro			Fevereiro			Março			Abril			Mai			Junho		
	Min.	Moda	Máx.	Min.	Moda	Máx.	Min.	Moda	Máx.	Min.	Moda	Máx.	Min.	Moda	Máx.	Min.	Moda	Máx.
Ponta do Pargo	0,9	2,7	10,0	1,1	2,4	7,1	1,0	2,4	8,5	1,0	2,2	5,7	0,9	1,9	5,0	0,8	1,6	3,9
Achadas da Cruz	0,8	2,8	10,6	1,1	2,5	7,6	1,1	2,5	9,4	1,1	2,3	6,0	0,9	1,9	5,0	0,8	1,7	4,4
Ponta do Tristão	0,9	3,0	11,4	1,2	2,7	8,0	1,1	2,7	9,5	1,1	2,5	6,4	1,0	2,0	4,9	0,9	1,8	4,7
Porto Moniz	0,8	2,2	7,1	0,9	2,1	5,8	0,9	2,1	6,8	0,8	2,0	5,2	0,7	1,6	4,0	0,6	1,6	4,4
Ponta das Contreiras	0,7	1,8	6,3	0,7	1,8	5,7	0,7	1,9	6,5	0,7	1,8	5,0	0,5	1,4	3,9	0,5	1,5	4,3
Seixal	0,8	2,1	7,3	0,8	2,0	6,1	0,8	2,1	7,4	0,8	2,0	5,3	0,6	1,6	4,1	0,6	1,6	4,6
São Vicente	0,8	2,4	8,7	0,9	2,3	7,2	1,0	2,4	8,9	0,9	2,2	6,3	0,7	1,8	4,6	0,6	1,7	5,3
Ponta Delgada	0,9	2,6	10,1	1,0	2,4	7,4	1,1	2,4	8,4	1,0	2,3	6,0	0,8	1,8	4,4	0,7	1,7	4,6
Ponta de São Jorge	0,9	2,8	10,4	1,1	2,5	7,5	1,1	2,5	8,6	1,0	2,3	6,1	0,8	1,9	4,5	0,8	1,7	4,6
Ponta do Clérigo	0,9	2,0	6,3	0,9	2,0	5,7	0,9	2,0	6,6	0,8	2,0	5,1	0,6	1,5	3,9	0,6	1,6	4,4
Faial	0,8	2,0	6,5	0,9	1,9	5,8	0,9	2,0	6,7	0,8	1,9	5,1	0,6	1,5	3,9	0,6	1,5	4,4
Porto da Cruz	0,8	2,0	6,7	0,8	1,9	5,8	0,8	2,0	6,8	0,8	1,9	5,1	0,6	1,5	3,9	0,6	1,5	4,4
Ponta do Esp. Amarelo	0,8	2,1	7,1	0,9	2,0	6,0	0,9	2,1	7,2	0,8	2,0	5,2	0,7	1,6	4,0	0,6	1,6	4,5
Ilhéu de Branca	1,0	2,5	7,3	1,0	2,3	6,3	1,1	2,3	7,4	1,0	2,2	5,7	0,7	1,7	4,1	0,7	1,7	4,5
São Lourenço	1,0	2,3	6,5	1,0	2,1	5,7	1,1	2,3	6,6	1,0	2,1	5,2	0,7	1,6	4,0	0,7	1,6	4,4
Enseada	0,7	1,7	5,5	0,7	1,5	4,0	0,7	1,6	4,9	0,6	1,4	3,7	0,5	1,1	3,0	0,5	1,0	2,7
Caniçal	0,4	1,2	4,3	0,4	1,1	2,6	0,4	1,1	3,7	0,4	0,9	2,8	0,3	0,7	1,9	0,3	0,7	1,9
Machico	0,4	1,2	3,9	0,4	1,0	2,8	0,4	1,1	3,2	0,4	0,9	2,9	0,3	0,7	2,2	0,3	0,6	1,9
Aeroporto	0,5	1,3	4,3	0,5	1,2	3,1	0,4	1,2	3,6	0,4	1,0	3,2	0,3	0,8	2,4	0,3	0,9	1,9
Ponta do Garajau	0,7	1,5	5,4	0,6	1,3	4,3	0,5	1,3	4,3	0,5	1,1	2,9	0,4	0,9	4,1	0,4	0,7	2,8
Funchal	0,5	1,2	5,0	0,4	1,0	4,0	0,4	1,0	5,7	0,4	0,8	2,6	0,3	0,7	3,8	0,3	0,5	2,6
Câmara de Lobos	0,6	1,5	5,9	0,5	1,2	4,4	0,5	1,2	5,1	0,5	1,0	3,2	0,4	0,9	4,0	0,4	0,7	2,9
Ribeira Brava	0,6	1,6	6,9	0,5	1,3	4,8	0,5	1,3	5,3	0,5	1,1	3,5	0,5	1,0	4,3	0,4	0,8	3,0
Ponta do Sol	0,6	1,6	6,9	0,5	1,3	4,8	0,5	1,3	5,3	0,5	1,1	3,5	0,5	1,0	4,3	0,4	0,8	3,0
Calheta	0,5	1,4	5,5	0,4	1,1	4,2	0,4	1,1	4,9	0,4	1,1	4,9	0,4	0,9	3,9	0,4	0,7	2,8
Paúl do Mar	0,7	2,0	8,0	0,6	1,7	5,5	0,7	1,7	6,1	0,7	1,5	4,3	0,6	1,3	4,8	0,5	1,0	3,3

Tabela B.2 (cont.): Mínimo (Min.), moda e máximo (Máx.) da variação anual da altura significativa (m). Fonte: <http://www2.areas.pt/ondatlas/madeira.htm>

Mês Localidade	Julho			Agosto			Setembro			Outubro			Novembro			Dezembro			Anual		
	Min.	Moda	Máx.	Min.	Moda	Máx.	Min.	Moda	Máx.	Min.	Moda	Máx.	Min.	Moda	Máx.	Min.	Moda	Máx.	Min.	Moda	Máx.
Ponta do Pargo	0,8	1,6	3,1	0,8	1,5	3,5	0,8	1,7	4,7	0,8	2,0	6,2	0,8	2,3	8,4	0,8	2,5	9,4	0,8	2,0	10,0
Achadas da Cruz	0,8	1,8	3,5	0,9	1,6	3,7	0,8	1,8	4,9	0,8	2,1	7,1	0,8	2,4	8,8	0,8	2,6	10,3	0,8	2,1	10,6
Ponta do Tristão	0,8	1,9	3,7	0,9	1,7	3,7	0,8	1,9	5,0	0,8	2,2	7,4	0,9	2,5	8,7	0,9	2,7	10,5	0,8	2,2	11,4
Porto Moniz	0,7	1,7	3,6	0,7	1,5	3,5	0,7	1,6	3,9	0,5	1,7	4,7	0,7	2,0	5,8	0,7	2,0	6,3	0,5	1,8	7,1
Ponta das Contreiras	0,6	1,7	3,5	0,6	1,5	3,4	0,6	1,4	3,8	0,4	1,6	4,3	0,6	1,7	5,6	0,6	1,7	5,2	0,4	1,6	6,5
Seixal	0,7	1,8	3,7	0,7	1,6	3,6	0,7	1,6	4,4	0,5	1,7	4,6	0,6	1,9	7,0	0,6	2,0	5,8	0,5	1,8	7,4
São Vicente	0,8	1,9	4,1	0,8	1,6	3,9	0,7	1,7	5,0	0,5	2,0	5,3	0,7	2,2	8,5	0,7	2,2	7,3	0,5	2,0	8,9
Ponta Delgada	0,8	1,8	3,7	0,9	1,6	3,5	0,8	1,7	4,8	0,6	2,0	6,7	0,8	2,3	8,4	0,8	2,4	9,0	0,6	2,1	10,1
Ponta de São Jorge	0,8	1,9	3,7	0,9	1,7	3,6	0,8	1,8	4,7	0,7	2,1	6,8	0,8	2,4	8,0	0,8	2,5	9,3	0,7	2,1	10,4
Ponta do Clérigo	0,7	1,7	3,6	0,7	1,5	3,5	0,7	1,5	3,9	0,5	1,7	4,3	0,7	1,9	5,7	0,7	1,9	5,2	0,5	1,8	6,6
Faial	0,7	1,7	3,6	0,7	1,5	3,5	0,7	1,5	4,0	0,5	1,7	4,3	0,7	1,8	5,9	0,7	1,9	5,2	0,5	1,7	6,7
Porto da Cruz	0,7	1,7	3,6	0,7	1,5	3,4	0,7	1,5	4,1	0,5	1,7	4,3	0,6	1,8	6,2	0,6	1,9	5,3	0,5	1,7	6,8
Ponta do Esp. Amarelo	0,8	1,7	3,6	0,7	1,6	3,5	0,7	1,6	4,3	0,5	1,7	4,5	0,7	1,9	6,6	0,7	2,0	5,4	0,5	1,8	7,2
Ilhéu de Branca	0,8	1,8	3,7	0,8	1,6	3,5	0,7	1,7	4,4	0,6	1,9	5,0	0,8	2,2	7,2	0,8	2,3	6,8	0,6	2,0	7,4
São Lourenço	0,8	1,8	3,6	0,7	1,6	3,5	0,7	1,6	4,0	0,6	1,9	4,3	0,8	2,1	6,2	0,8	2,2	5,7	0,6	1,9	6,6
Enseada	0,5	1,1	2,1	0,4	0,9	2,1	0,5	1,0	3,2	0,5	1,3	3,6	0,6	1,5	4,7	0,6	1,6	5,3	0,4	1,3	5,5
Canical	0,3	0,7	1,5	0,3	0,7	1,6	0,3	0,7	3,0	0,4	0,9	3,5	0,4	1,0	3,0	0,4	1,2	4,8	0,3	0,9	4,8
Machico	0,3	0,7	1,6	0,2	0,7	1,6	0,3	0,7	2,7	0,3	0,8	3,4	0,4	1,0	2,8	0,4	1,1	4,4	0,2	0,9	4,4
Aeroporto	0,3	0,9	1,9	0,3	0,8	1,9	0,3	0,8	2,9	0,4	0,9	3,5	0,4	1,1	3,0	0,5	1,3	4,7	0,3	1,0	4,7
Ponta do Garajau	0,3	0,8	1,4	0,4	0,7	1,5	0,4	0,8	4,2	0,4	1,0	5,4	0,5	1,3	4,3	0,7	1,5	5,6	0,3	1,0	5,7
Funchal	0,2	0,5	1,0	0,2	0,5	1,1	0,2	0,6	4,2	0,3	0,8	5,2	0,3	1,0	4,4	0,5	1,2	5,5	0,2	0,8	5,7
Câmara de Lobos	0,3	0,6	1,3	0,3	0,6	1,1	0,4	0,7	3,9	0,4	1,0	5,1	0,5	1,2	3,9	0,7	1,4	5,6	0,3	1,0	5,9
Ribeira Brava	0,4	0,7	1,4	0,4	0,7	1,2	0,4	0,8	4,0	0,4	1,1	5,4	0,5	1,3	4,0	0,7	1,5	6,3	0,4	1,0	6,9
Ponta do Sol	0,4	0,7	1,4	0,4	0,7	1,2	0,4	0,8	4,0	0,4	1,1	5,4	0,5	1,3	4,0	0,7	1,5	6,3	0,4	1,0	6,9
Calheta	0,3	0,6	1,1	0,3	0,6	1,1	0,4	0,7	3,8	0,4	0,9	4,9	0,4	1,1	3,8	0,6	1,3	5,2	0,3	0,9	5,5
Paúl do Mar	0,5	1,0	3,3	0,6	0,9	2,2	0,5	1,1	4,0	0,6	1,4	5,7	0,6	1,6	4,9	0,8	1,9	7,5	0,5	1,4	8,0

Tabela B.3: Densidade de probabilidade da altura significativa ($\%/m$). Fonte: <http://www2.aream.pt/ondatlas/madeira.htm>

Altura (m) Localidade	< 0,5	0,5 – 1	1 – 1,5	1,5 – 2	2 – 2,5	2,5 – 3	3 – 3,5	3,5 – 4	4 – 4,5	4,5 – 5	5 – 6	6 – 7	7 – 8	8 – 9	9 – 10	10 – 12	12 – 14
Ponta do Pargo		49,2	468,2	578,7	416,9	202,1	103,4	67,2	46,8	23,5	12,4	5,3	2,8	1,2	0,3		
Achadas da Cruz		37,1	389,2	542,3	439,5	247,5	129,5	74,9	51,6	32,7	14,3	6,8	4,0	1,6	0,8	0,1	
Ponta do Tristão		26,2	313,9	508,6	467,0	298,3	149,2	86,3	55,2	37,0	14,9	7,1	4,0	1,8,	0,9	0,2	
Porto do Moniz	0,8	128,7	540,9	583,5	396,6	185,5	85,2	35,7	21,4	11,0	4,4	0,9	0,1				
Ponta das Contreiras	2,5	269,6	647,2	518,8	323,4	131,0	60,7	25,1	12,9	4,8	1,9	0,2					
Seixal	1,2	149,2	564,8	555,3	371,7	186,6	78,3	44,4	21,8	13,7	5,1	1,2	0,2				
São Vicente	0,7	78,3	448,5	552,8	402,8	241,2	112,8	64,5	40,3	20,1	11,8	4,8	1,8	0,5			
Ponta Delgada		52,4	411,6	552,2	441,9	247,8	120,2	63,5	47,2	21,1	11,6	5,4	2,3	1,4	0,3		
Ponta de São Jorge		41,9	371,9	532,2	458,8	271,4	132,9	73,5	47,9	26,0	11,7	5,8	2,6	1,2	0,3		
Ponta do Clérigo	1,1	149,9	573,9	575,8	383,8	177,0	70,9	34,1	19,2	8,2	2,7	0,3					
Faial	1,2	164,6	601,0	563,4	367,3	169,8	69,0	33,3	17,5	7,7	2,3	0,3					
Porto da Cruz	1,4	174,7	603,0	557,4	363,0	164,7	70,9	32,6	17,9	8,9	2,3	0,5					
Ponta do Esp. Amarelo	1,0	133,4	564,2	573,5	383,8	184,8	77,6	39,6	19,9	11,8	4,4	0,6	0,2				
Ilhéu de Branca		67,4	429,6	580,6	441,3	248,9	104,1	59,3	29,0	16,8	8,4	2,5	0,5				
São Lourenço		90,1	481,2	590,2	434,3	215,1	95,2	52,2	20,4	12,3	4,1	0,4					
Enseada	26,7	604,5	765,5	369,9	133,2	54,4	25,3	11,4	5,6	2,7	0,4						
Canical	300,0	1014,4	495,8	136,5	34,8	12,7	4,5	0,7	0,5	0,1							
Machico	339,8	990,7	484,7	136,6	34,1	10,8	2,5	0,7	0,1								
Aeroporto	204,3	990,5	598,6	203,3	59,4	17,9	5,8	0,5	0,5	0,1							
Ponta do Garajau	147,6	910,2	617,1	194,3	63,7	27,4	16,8	11,0	7,0	2,6	1,2						
Funchal	488,8	1039,6	299,4	76,9	41,8	20,9	15,5	7,8	5,8	2,6	0,5						
Câmara de Lobos	198,7	1003,4	499,6	162,7	63,0	29,4	20,4	11,1	6,4	3,6	0,9						
Ribeira Brava	218,4	1033,0	471,1	147,7	59,3	30,1	18,9	10,8	6,3	3,3	0,5						
Ponta do Sol	120,1	981,5	517,9	209,1	78,9	38,2	23,5	13,1	8,8	5,2	1,4	0,4					
Calheta	276,0	1048,6	428,9	125,3	54,5	29,3	18,6	10,4	4,9	2,7	0,3						
Paúl do Mar	2,7	605,1	687,7	351,2	171,8	82,0	39,4	26,4	14,0	8,5	4,2	1,0	0,4				

Tabela B.4: Excedência da altura significativa ($\%$). Fonte: <http://www2.areas.pt/ondatlas/madeira.htm>

Altura (m) Localidade	> 0	> 0,5	> 1	> 1,5	> 2	> 2,5	> 3	> 3,5	> 4	> 4,5	> 5	> 6	> 7	> 8	> 9	> 10	> 12
Ponta do Pargo	1000,0	1000,0	975,4	741,3	451,9	243,5	142,5	90,8	57,2	33,7	22,0	9,6	4,3	1,5	0,3		
Achadas da Cruz	1000,0	1000,0	981,4	786,8	515,7	295,9	172,2	107,4	70,0	44,2	27,8	13,5	6,6	2,7	1,0	0,2	
Ponta do Tristão	1000,0	1000,0	986,9	830,0	575,6	342,1	193,0	118,4	75,2	47,6	29,2	14,3	7,2	3,1	1,3	0,4	
Porto do Moniz	1000,0	999,6	935,2	646,8	373,0	174,7	81,9	39,4	21,5	10,8	5,3	1,0	0,1				
Ponta das Contreiras	1000,0	998,8	864,0	540,4	281,0	119,3	53,8	23,5	11,0	4,5	2,1	0,2					
Seixal	1000,0	999,4	924,8	642,4	364,7	178,9	85,6	46,4	24,2	13,3	6,5	1,4	0,2				
São Vicente	1000,0	999,7	960,5	736,2	459,8	258,4	137,8	81,4	49,2	29,0	19,0	7,1	2,3	0,5			
Ponta Delgada	1000,0	1000,0	973,8	768,0	491,9	270,9	147,0	86,9	55,2	31,6	21,0	9,4	4,0	1,7	0,3	0,1	
Ponta de São Jorge	1000,0	1000,0	979,1	793,1	527,0	297,6	162,0	95,5	58,7	34,8	21,8	10,1	4,2	1,6	0,4	0,1	
Ponta do Clérigo	1000,0	999,5	924,5	637,5	349,6	157,7	69,2	33,7	16,7	7,1	3,0	0,3					
Faial	1000,0	999,4	917,1	616,6	334,9	151,2	66,3	31,8	15,2	6,4	2,6	0,3					
Porto da Cruz	1000,0	999,3	912,0	610,5	331,8	150,3	68,0	32,5	16,2	7,3	2,8	0,5					
Ponta do Esp. Amarelo	1000,0	999,5	932,8	650,7	364,0	172,1	79,7	40,9	21,1	11,2	5,3	0,8	0,2				
Ilhéu de Branca	1000,0	1000,0	966,3	751,5	461,2	240,6	116,1	64,1	34,4	19,9	11,5	3,1	0,5				
São Lourenço	1000,0	1000,0	955,0	714,3	419,2	202,1	94,5	47,0	20,9	10,7	4,5	0,4					
Enseada	1000,0	986,7	684,4	301,7	116,7	50,1	22,9	10,3	4,6	1,8	0,4						
Canical	1000,0	850,0	342,8	94,9	26,7	9,3	2,9	0,7	0,3	0,1							
Machico	1000,0	830,1	334,7	92,4	24,1	7,1	1,6	0,4	0,1								
Aeroporto	1000,0	897,9	443,1	143,8	42,2	12,5	3,5	0,6	0,3	0,1							
Ponta do Garajau	1000,0	926,2	471,1	162,6	65,4	33,6	19,9	11,5	6,0	2,5	1,2						
Funchal	1000,0	755,6	235,8	86,1	47,6	26,8	16,3	8,6	4,7	1,8	0,5						
Câmara de Lobos	1000,0	900,7	399,0	149,2	67,8	36,3	21,6	11,4	5,9	2,7	0,9						
Ribeira Brava	1000,0	890,8	374,3	138,8	64,9	35,3	20,2	10,7	5,3	2,2	0,5						
Ponta do Sol	1000,0	940,0	449,2	190,2	85,7	46,3	27,2	15,4	8,8	4,4	1,8	0,4					
Calheta	1000,0	862,0	337,7	123,2	60,6	33,3	18,7	9,4	4,2	1,7	0,3						
Paúl do Mar	1000,0	998,6	696,1	352,2	176,6	90,7	49,7	30,0	16,8	9,8	5,5	1,4	0,4				

Tabela B.5: Média (Méd.) e desvio padrão (D.P.) da variação anual do período de energia (s). Fonte: <http://www2.areas.pt/ondatlas/madeira.htm>

Localidade \ Mês	Janeiro		Fevereiro		Março		Abril		Maio		Junho		Julho		Agosto		Setembro		Outubro		Novembro		Dezembro		Anual	
	Méd.	D.P.	Méd.	D.P.	Méd.	D.P.	Méd.	D.P.	Méd.	D.P.	Méd.	D.P.	Méd.	D.P.	Méd.	D.P.	Méd.	D.P.	Méd.	D.P.	Méd.	D.P.	Méd.	D.P.	Méd.	D.P.
Ponta do Pargo	9,8	1,8	9,2	2,0	8,9	1,5	8,4	1,3	7,6	1,2	7,0	0,8	6,6	0,6	6,7	0,8	7,6	1,2	8,3	1,5	8,9	1,8	9,2	1,7	8,2	1,7
Achadas da Cruz	10,3	1,9	9,6	2,1	9,2	1,6	8,7	1,4	7,8	1,3	7,2	0,8	6,7	0,7	6,8	0,8	7,8	1,3	8,6	1,5	9,3	1,9	9,7	1,8	8,5	1,9
Ponta do Tristão	10,2	2,0	9,4	2,2	9,0	1,6	8,5	1,3	7,7	1,3	7,0	0,8	6,6	0,6	6,7	0,8	7,6	1,2	8,4	1,6	9,1	1,9	9,5	1,9	8,3	1,9
Porto do Moniz	9,2	2,0	8,6	2,1	8,2	1,4	7,8	1,1	7,3	1,2	6,8	0,8	6,4	0,6	6,4	0,7	7,1	1,1	7,8	1,4	8,4	1,8	8,7	1,9	7,7	1,7
Ponta das Contreiras	7,8	1,3	7,5	1,1	7,6	1,1	7,4	1,0	7,0	0,9	6,7	0,8	6,4	0,6	6,4	0,7	6,9	0,9	7,5	1,2	7,6	1,4	7,6	1,2	7,2	1,1
Seixal	8,9	1,8	8,3	1,6	8,2	1,3	7,9	1,2	7,4	1,1	6,9	0,8	6,6	0,6	6,6	0,7	7,3	1,1	8,0	1,5	8,3	1,6	8,4	1,7	7,7	1,5
São Vicente	9,7	1,9	9,1	1,9	8,8	1,5	8,4	1,3	7,7	1,2	7,1	0,8	6,8	0,7	6,8	0,8	7,7	1,2	8,5	1,6	9,0	1,8	9,2	1,8	8,2	1,7
Ponta Delgada	10,1	2,2	9,4	2,3	8,9	1,6	8,3	1,4	7,7	1,4	7,0	0,8	6,6	0,6	6,7	0,8	7,6	1,3	8,4	1,7	9,1	2,1	9,4	2,1	8,3	1,9
Ponta de São Jorge	10,0	2,1	9,3	2,3	8,8	1,6	8,3	1,4	7,7	1,4	6,9	0,8	6,5	0,6	6,6	0,8	7,5	1,3	8,3	1,7	9,0	2,0	9,3	2,0	8,2	1,9
Ponta do Clérigo	8,6	1,8	8,2	1,7	7,9	1,2	7,6	1,0	7,1	1,0	6,7	0,7	6,4	0,6	6,4	0,6	7,0	1,0	7,6	1,3	8,0	1,6	8,2	1,6	7,5	1,4
Faial	8,3	1,7	7,9	1,5	7,8	1,2	7,5	1,0	7,0	1,0	6,7	0,7	6,4	0,6	6,4	0,6	7,0	0,9	7,6	1,3	7,9	1,5	8,0	1,5	7,4	1,3
Porto da Cruz	8,3	1,6	7,9	1,4	7,8	1,2	7,5	1,0	7,1	1,0	6,7	0,8	6,4	0,6	7,0	1,0	7,7	1,3	7,7	1,3	7,9	1,5	8,0	1,5	7,4	1,3
Ponta Esp. Amarelo	8,6	1,8	8,2	1,5	8,0	1,2	7,7	1,1	7,2	0,6	6,8	0,6	6,5	0,6	6,5	0,7	7,2	1,0	7,8	1,4	8,1	1,6	8,2	1,5	7,6	1,4
Ilhéu de Branca	9,0	2,0	8,5	1,9	8,1	1,4	7,8	1,2	7,2	1,2	6,7	0,7	6,4	0,6	6,5	0,7	7,2	1,1	7,8	1,5	8,3	1,8	8,4	1,8	7,7	1,6
São Lourenço	8,0	1,5	7,7	1,4	7,5	1,1	7,3	1,0	6,8	0,9	6,5	0,7	6,3	0,5	6,3	0,6	6,8	0,9	7,3	1,2	7,5	1,4	7,7	1,4	7,1	1,2
Enseada	8,8	2,1	8,4	2,0	8,0	1,5	7,7	1,3	7,0	1,3	6,6	0,8	6,3	0,6	6,3	0,8	7,0	1,2	7,6	1,5	8,1	1,5	8,2	1,9	7,5	1,7
Canical	6,0	0,9	5,8	0,6	5,9	0,7	5,7	0,6	5,2	0,6	5,3	0,6	5,2	0,5	5,1	0,5	5,2	0,5	5,5	0,6	5,7	0,6	6,0	0,8	5,6	0,7
Machico	5,8	0,8	5,7	0,6	5,7	0,6	5,5	0,6	5,1	0,5	5,1	0,6	5,2	0,5	5,1	0,5	5,1	0,5	5,3	0,6	5,5	0,5	5,5	0,7	5,4	0,7
Aeroporto	6,1	0,9	5,9	0,7	6,0	0,7	5,8	0,6	5,3	0,6	5,3	0,6	5,3	0,5	5,2	0,5	5,3	0,6	5,6	0,6	5,8	0,7	6,0	0,8	5,6	0,7
Ponta do Garajau	7,0	1,2	6,7	1,2	6,4	1,0	6,2	0,9	5,8	0,8	5,4	0,9	5,1	0,4	5,1	0,4	5,5	0,7	5,9	0,8	6,3	1,0	6,8	1,1	6,0	1,1
Funchal	5,9	1,0	5,6	0,9	5,5	0,9	5,3	0,7	5,1	0,7	4,7	1,0	4,4	0,3	4,4	0,3	4,7	0,6	5,3	0,9	5,5	0,9	5,8	1,1	5,2	0,9
Câmara de Lobos	7,7	1,6	7,3	1,8	6,8	1,4	6,5	1,3	6,1	1,2	5,6	1,0	5,0	0,6	5,1	0,7	5,8	1,0	6,2	1,1	6,7	1,4	7,3	1,5	6,3	1,5
Ribeira Brava	7,5	1,5	7,1	1,7	6,7	1,3	6,4	1,2	6,1	1,1	5,6	1,0	5,0	0,6	5,2	0,7	5,7	1,0	6,2	1,0	6,6	1,4	7,1	1,4	6,3	1,4
Ponta do Sol	8,2	1,7	7,6	1,9	7,1	1,5	6,8	1,4	6,3	1,3	5,7	1,1	5,2	0,7	5,3	0,8	6,0	1,1	6,5	1,2	7,0	1,6	7,6	1,6	6,6	1,6
Calheta	7,5	1,4	7,0	1,6	6,6	1,3	6,4	1,2	6,0	1,1	5,5	1,0	5,0	0,6	5,1	0,7	5,7	1,0	6,2	1,0	6,6	1,3	7,1	1,4	6,2	1,4
Paúl do Mar	9,0	1,7	8,4	1,9	7,9	1,4	7,6	1,3	6,9	1,3	6,3	0,9	5,8	0,7	6,0	0,9	6,9	1,2	7,4	1,3	8,0	1,6	8,4	1,6	7,4	1,7

Tabela B.6: Mínimo (Min.), moda e máximo (Máx.) da variação anual do período de energia (s). Fonte: <http://www2.arem.pt/ondatlas/madeira.htm>

Localidade \ Mês	Janeiro			Fevereiro			Março			Abril			Maio			Junho		
	Min.	Moda	Máx.	Min.	Moda	Máx.	Min.	Moda	Máx.	Min.	Moda	Máx.	Min.	Moda	Máx.	Min.	Moda	Máx.
Ponta do Pargo	5,4	9,7	17,7	5,8	9,0	15,7	5,9	8,7	15,4	5,8	8,3	15,6	5,4	7,5	12,8	5,3	7,0	9,2
Achadas da Cruz	6,0	10,2	17,4	5,9	9,4	15,9	6,0	9,1	15,5	5,9	8,6	15,7	5,5	7,8	13,7	5,4	7,1	9,7
Ponta do Tristão	5,7	10,0	18,3	5,7	9,2	16,4	5,9	8,8	15,3	5,7	8,4	15,5	5,4	7,6	14,0	5,3	7,0	9,7
Porto Moniz	5,1	9,0	17,7	5,2	8,4	15,9	5,5	8,1	14,4	5,7	7,7	13,2	5,1	7,2	14,0	4,7	6,7	9,5
Ponta das Contreiras	4,9	7,7	13,9	4,9	7,5	11,9	5,5	7,6	11,9	5,5	7,4	11,2	4,9	6,9	9,8	4,6	6,7	10,1
Seixal	5,1	8,7	16,7	5,2	8,2	14,6	5,6	8,1	13,9	5,7	7,8	14,4	5,2	7,3	11,9	4,8	6,8	10,2
São Vicente	5,3	9,6	17,6	5,4	8,9	15,6	5,8	8,7	14,9	5,9	8,3	15,2	5,3	7,6	13,3	5,1	7,1	10,3
Ponta Delgada	5,4	9,9	18,5	5,4	9,1	16,7	5,7	8,7	15,3	5,7	8,3	15,4	5,3	7,6	14,4	5,2	7,0	9,7
Ponta de São Jorge	5,4	9,8	18,4	5,4	9,0	16,4	5,7	8,7	15,1	5,7	8,2	15,2	5,3	7,6	14,2	5,1	6,9	9,8
Ponta do Clérigo	5,0	8,4	17,0	5,1	8,0	14,6	5,5	7,8	13,6	5,6	7,5	12,5	5,1	7,0	12,9	4,7	6,6	9,5
Faial	4,9	8,2	16,8	5,1	7,8	14,2	5,5	7,7	13,1	5,6	7,4	12,4	5,1	7,0	11,9	4,6	6,6	9,7
Porto da Cruz	4,9	8,2	15,9	5,1	7,8	13,6	5,5	7,8	12,8	5,6	7,5	12,3	5,1	7,0	11,6	4,7	6,7	9,9
Ponta do Esp. Amarelo	5,0	8,5	15,3	5,2	8,0	13,7	5,5	7,9	13,0	5,7	7,6	12,5	5,2	7,2	11,7	4,8	6,7	9,9
Ilhéu de Branca	5,1	8,8	17,6	5,2	8,3	15,6	5,4	8,0	14,2	5,6	7,7	14,5	5,2	7,2	13,1	4,8	6,7	9,0
São Lourenço	5,0	7,9	15,7	5,1	7,6	13,6	5,3	7,4	12,2	5,4	7,2	12,4	5,0	6,7	11,1	4,7	6,5	8,8
Enseada	5,1	8,6	17,7	5,1	8,2	15,8	5,2	7,8	14,3	5,0	7,6	14,4	5,0	6,9	13,3	4,8	6,5	9,3
Canical	5,4	9,7	17,7	5,8	9,0	15,7	5,9	8,7	15,4	5,8	8,3	15,6	5,4	7,5	12,8	5,3	7,0	9,2
Machico	4,5	5,9	11,4	4,1	5,8	8,6	4,4	5,9	8,8	4,1	5,7	8,0	4,0	5,2	7,7	3,9	5,2	8,8
Aeroporto	4,4	5,8	10,0	4,0	5,7	7,7	4,3	5,7	8,5	4,1	5,5	7,9	3,9	5,1	7,2	3,8	5,1	9,3
Ponta do Garajau	4,5	6,0	11,3	4,1	5,9	8,3	4,5	6,0	8,8	4,1	5,8	8,8	4,0	5,3	7,8	3,9	5,3	7,9
Funchal	4,6	6,9	11,8	4,7	6,6	11,1	4,5	6,4	10,2	4,4	6,1	9,6	4,3	5,8	9,0	4,2	5,4	12,3
Câmara de Lobos	4,3	5,8	10,3	4,2	5,5	9,1	4,0	5,5	9,6	4,0	5,2	9,1	3,8	5,0	8,9	3,8	4,7	13,9
Ribeira Brava	4,6	7,6	13,8	4,5	7,1	12,6	4,5	6,7	11,7	4,1	6,4	10,7	4,2	6,0	10,7	4,1	5,5	11,2
Ponta do Sol	4,5	7,4	13,0	4,5	6,9	12,2	4,5	6,6	11,5	4,1	6,3	10,3	4,1	6,0	10,5	4,1	5,5	11,1
Calheta	4,6	8,0	14,7	4,5	7,4	13,2	4,6	6,9	12,2	4,1	6,7	11,1	4,2	6,2	11,2	4,2	5,7	11,5
Paúl do Mar	4,3	7,3	12,4	4,4	6,9	11,9	4,4	6,5	11,2	4,0	6,3	10,0	4,0	5,9	10,3	4,0	5,5	10,6

Tabela B.6 (cont.): Mínimo (Min.), moda e máximo (Máx.) da variação anual do período de energia (s). Fonte: <http://www2.areas.pt/ondatas/madeira.htm>

Mês Localidade	Julho			Agosto			Setembro			Outubro			Novembro			Dezembro			Anual		
	Min.	Moda	Máx.	Min.	Moda	Máx.	Min.	Moda	Máx.	Min.	Moda	Máx.	Min.	Moda	Máx.	Min.	Moda	Máx.	Min.	Moda	Máx.
Ponta do Pargo	5,4	6,6	9,8	5,4	6,7	11,1	5,4	7,5	13,9	5,5	8,2	14,3	5,8	8,7	14,5	5,9	9,1	15,5	5,3	8,0	17,7
Achadas da Cruz	5,4	6,7	10,3	5,4	6,8	11,3	5,5	7,7	14,5	5,6	8,5	14,8	6,1	9,1	15,0	5,9	9,5	15,6	5,4	8,3	17,4
Ponta do Tristão	5,3	6,6	10,0	5,3	6,6	11,1	5,5	7,5	14,9	5,5	8,3	15,3	6,0	8,9	15,2	5,8	9,3	15,9	5,3	8,1	18,3
Porto Moniz	5,2	6,4	9,0	5,0	6,4	10,0	5,2	7,1	14,6	5,4	7,7	14,9	5,7	8,2	14,8	5,3	8,5	15,1	4,7	7,6	17,7
Ponta das Contreiras	5,1	6,4	9,0	4,8	6,4	9,8	5,1	6,9	10,4	4,8	7,4	11,8	5,2	7,5	12,8	5,1	7,5	12,0	4,6	7,1	13,9
Seixal	5,2	6,8	9,8	5,0	6,6	10,8	5,3	7,2	12,5	5,3	7,9	13,5	5,4	8,2	14,4	5,2	8,3	14,7	4,8	7,6	16,7
São Vicente	5,3	6,7	10,0	5,3	6,8	11,2	5,4	7,6	14,1	5,5	8,3	14,6	5,8	8,8	15,1	5,5	9,0	15,4	5,1	8,1	17,6
Ponta Delgada	5,3	6,6	9,9	5,3	6,6	11,1	5,4	7,5	15,2	5,5	8,3	15,7	5,9	8,9	15,7	5,6	9,2	16,0	5,2	8,1	18,5
Ponta de São Jorge	5,2	6,5	9,8	5,3	6,6	11,1	5,4	7,4	15,0	5,5	8,2	15,5	5,9	8,8	15,5	5,5	9,1	15,8	5,1	8,0	18,4
Ponta do Clérigo	5,1	6,4	9,0	4,9	6,4	9,9	5,2	6,9	13,5	5,3	7,5	13,7	5,3	7,9	13,6	5,1	8,0	14,2	4,7	7,3	17,0
Faial	5,1	6,4	9,0	4,9	6,4	9,9	5,2	6,9	12,6	5,2	7,5	13,1	5,2	7,7	13,3	5,1	7,9	13,8	4,6	7,3	16,8
Porto da Cruz	5,1	6,4	9,3	4,9	6,4	10,2	5,2	7,0	12,1	5,1	7,6	12,5	5,2	7,8	13,1	5,1	7,9	13,5	4,7	7,3	15,9
Ponta do Esp. Amarelo	5,1	6,4	9,6	5,0	6,5	10,5	5,2	7,1	12,3	5,3	7,7	12,7	5,4	8,0	13,1	5,2	8,1	13,5	4,8	7,5	15,3
Ilhéu de Branca	5,2	6,4	9,7	5,1	6,4	10,8	5,3	7,1	13,9	5,3	7,7	14,3	5,8	8,1	14,6	5,2	8,3	15,2	4,8	7,5	17,6
São Lourenço	5,0	6,2	9,0	4,8	6,2	10,0	5,1	6,7	11,8	5,1	7,2	12,0	5,4	7,4	12,4	5,0	7,6	13,5	4,7	7,0	15,7
Enseada	4,9	6,2	9,8	4,7	6,3	11,0	4,8	7,0	14,4	4,8	7,5	14,2	5,2	7,9	14,0	5,0	8,1	15,2	4,7	7,3	17,7
Caniçal	3,7	5,2	6,9	3,7	5,1	6,6	4,1	5,2	8,0	3,9	5,5	8,5	4,4	5,7	9,1	4,3	5,9	9,3	3,7	5,5	11,4
Machico	3,7	5,2	6,9	3,7	5,1	7,7	4,0	5,1	7,7	3,9	5,3	8,2	4,1	5,5	8,8	4,3	5,8	9,1	3,7	5,4	10,0
Aeroporto	3,7	5,3	7,9	3,8	5,2	6,9	4,1	5,3	7,9	4,1	5,6	8,4	4,4	5,8	9,3	4,3	6,0	9,3	3,7	5,6	11,3
Ponta do Garajau	3,9	5,1	6,7	4,1	5,1	6,7	4,0	5,5	8,8	4,1	5,9	9,6	4,5	6,3	11,8	4,7	6,7	10,4	3,9	5,9	12,3
Funchal	3,6	4,4	5,7	3,8	4,4	5,4	3,6	4,7	8,8	3,7	5,3	9,4	4,0	5,4	9,9	4,2	5,7	9,8	3,6	5,1	13,9
Câmara de Lobos	4,1	5,0	7,6	4,0	5,1	7,7	3,9	5,7	10,1	4,1	6,2	10,2	4,4	6,6	13,4	4,6	7,1	11,4	3,9	6,2	13,8
Ribeira Brava	4,1	5,0	7,4	4,1	5,1	7,6	4,0	5,7	9,2	4,1	6,1	9,6	4,4	6,5	13,2	4,5	7,0	10,9	4,0	6,1	13,2
Ponta do Sol	4,1	5,1	8,5	4,1	5,3	8,0	4,2	5,9	11,3	4,2	6,4	11,1	4,4	6,9	14,2	4,6	7,5	11,9	4,1	6,4	14,7
Calheta	4,0	5,0	7,4	4,0	5,1	7,6	4,0	5,7	9,1	4,1	6,1	9,4	4,2	6,5	12,7	4,4	6,9	10,5	4,0	6,1	12,7
Paúl do Mar	4,6	5,8	9,3	4,6	6,0	10,1	4,7	6,8	12,2	4,9	7,3	12,2	4,7	7,8	13,7	5,3	8,2	13,3	4,5	7,2	15,3

Tabela B.7: Densidade de probabilidade do período de energia ($\%_{00}/s$). Fonte: <http://www2.areas.pt/ondatlas/madeira.htm>

Período (s) Localidade	3 – 4	4 – 5	5 – 6	6 – 7	7 – 8	8 – 9	9 – 10	10 – 11	11 – 12	12 – 13	13 – 14	14 – 15	15 – 16	16 – 17	17 – 18	18 – 19	19 – 20
Ponta do Pargo			42,6	262,0	249,2	181,1	121,5	73,4	33,9	20,9	9,6	4,4	1,1	0,1	0,2		
Achadas da Cruz		37,1	389,2	542,3	439,5	247,5	129,5	74,9	51,6	32,7	14,3	6,8	4,0	1,6	0,8	0,1	
Ponta do Tristão			46,3	257,7	243,4	168,3	113,3	77,4	42,4	25,1	14,5	8,0	2,7	0,6	0,2	0,1	
Porto do Moniz		0,2	86,7	332,0	259,0	148,8	81,3	41,2	22,6	13,1	8,4	5,1	1,1	0,3	0,2		
Ponta das Contreiras		1,0	113,2	405,6	283,8	122,4	49,8	17,4	5,5	1,8	0,2						
Seixal		0,2	67,1	318,9	289,8	155,5	86,7	44,5	21,4	9,3	4,4	1,8	0,1	0,2			
São Vicente			39,3	236,4	276,9	185,6	113,6	74,6	35,9	20,3	11,8	4,2	1,1	0,1	0,2		
Ponta Delgada			51,3	265,3	249,3	160,7	108,2	71,2	39,3	23,9	15,9	9,2	4,2	0,8	0,3	0,2	
Ponta de São Jorge			61,5	279,9	239,5	152,2	106,0	70,1	39,3	24,2	14,2	8,3	3,6	0,6	0,3	0,1	
Ponta do Clérigo		0,5	107,4	371,0	261,6	136,1	64,7	29,8	14,4	8,9	4,4	1,0	0,1	0,2			
Faial		0,5	111,4	384,6	266,4	131,6	59,6	24,6	12,0	6,8	1,8	0,4	0,1	0,2			
Porto da Cruz		0,5	104,8	375,1	271,5	134,2	64,1	29,1	13,1	6,0	1,4	0,1	0,2				
Ponta do Esp. Amarelo		0,3	86,0	342,8	280,4	146,2	80,8	37,4	16,2	7,3	2,3	0,1	0,1				
Ilhéu de Branca		0,1	96,9	343,3	255,6	139,4	77,0	41,8	21,6	13,1	7,1	3,1	0,6	0,1	0,2		
São Lourenço		1,0	160,1	412,1	241,3	106,9	45,9	19,6	8,9	2,7	1,2	0,1	0,2				
Enseada		2,9	166,6	325,8	223,1	123,9	69,5	42,9	20,2	13,5	7,5	2,9	1,0	0,1	0,2		
Canical	1,0	231,3	576,9	150,5	32,4	7,3	0,3	0,1	0,1								
Machico	1,4	295,5	566,8	113,4	19,5	3,0	0,4										
Aeroporto	0,6	197,6	565,7	191,1	36,0	8,1	0,7	0,1	0,1								
Ponta do Garajau	0,2	175,2	428,9	234,3	99,2	42,4	16,0	2,5	1,0	0,1							
Funchal	19,9	536,7	300,2	89,0	37,0	13,9	2,4	0,3	0,3	0,1	0,3						
Câmara de Lobos	0,1	219,1	281,4	220,8	140,5	76,0	38,3	16,5	5,1	1,4	0,7						
Ribeira Brava	0,1	219,5	291,9	236,6	136,3	67,7	31,8	11,8	2,9	1,2	0,2						
Ponta do Sol		172,1	270,7	217,6	160,4	88,7	49,6	25,5	10,6	3,4	1,0	0,6					
Calheta	0,6	229,0	279,0	241,9	141,6	66,1	29,9	9,4	2,0	0,6							
Paúl do Mar		21,5	230,8	236,2	196,5	148,8	88,5	47,9	20,7	6,7	2,0	0,3	0,1				

Tabela B.8: Média (Méd.) e desvio padrão (D.P.) da variação anual do período de pico unidireccional (s). Fonte: <http://www2.areas.pt/ondatlases/madeira.htm>

Localidade \ Mês	Janeiro		Fevereiro		Março		Abril		Maio		Junho		Julho		Agosto		Setembro		Outubro		Novembro		Dezembro		Anual	
	Méd.	D.P.	Méd.	D.P.	Méd.	D.P.	Méd.	D.P.	Méd.	D.P.	Méd.	D.P.	Méd.	D.P.	Méd.	D.P.	Méd.	D.P.	Méd.	D.P.	Méd.	D.P.	Méd.	D.P.	Méd.	D.P.
Ponta do Pargo	13,1	2,8	12,1	3,0	11,7	2,9	11,0	2,6	9,7	2,2	8,7	1,7	8,0	1,3	8,1	1,4	9,6	2,2	10,7	2,6	11,6	2,9	12,3	2,9	10,6	2,9
Achadas da Cruz	12,9	3,1	11,7	3,5	11,4	3,2	10,6	3,0	9,4	2,6	8,3	2,1	7,5	1,6	7,4	1,8	9,0	2,6	10,3	3,0	11,2	3,4	11,8	3,4	10,1	3,3
Ponta do Tristão	13,1	2,8	12,1	3,0	11,7	2,9	11,0	2,6	9,7	2,2	8,7	1,7	8,0	1,3	8,0	1,4	9,5	2,2	10,7	2,6	11,6	3,0	12,3	2,9	10,5	3,0
Porto do Moniz	12,9	3,1	11,8	3,4	11,5	3,2	10,6	2,9	9,4	2,6	8,3	1,9	7,5	1,6	7,4	1,9	9,0	2,7	10,4	3,0	11,3	3,4	11,9	3,3	10,1	3,3
Ponta das Contreiras	12,8	3,2	11,6	3,6	11,4	3,3	10,4	3,0	9,4	2,6	8,2	1,9	7,5	1,6	7,4	1,8	8,9	2,7	10,2	3,1	11,2	3,4	11,8	3,5	10,1	3,4
Seixal	12,2	3,6	11,2	3,6	10,8	3,5	9,8	3,0	9,2	2,6	7,9	1,8	7,2	1,3	7,2	1,5	8,6	2,6	9,7	3,2	10,5	3,6	11,2	3,6	9,6	3,3
São Vicente	13,1	2,9	12,0	3,1	11,6	3,0	10,8	2,6	9,7	2,2	8,7	1,6	8,0	1,3	8,0	1,4	9,6	2,2	10,7	2,6	11,6	3,0	12,2	3,0	10,5	3,0
Ponta Delgada	12,5	3,5	11,5	3,6	11,0	3,5	10,1	3,1	9,2	2,6	7,9	1,9	7,2	1,4	7,2	1,5	8,6	2,6	9,7	3,2	10,7	3,6	11,6	3,6	9,8	3,4
Ponta de São Jorge	12,5	3,6	11,5	3,7	11,0	3,5	10,2	3,1	9,2	2,6	7,9	1,8	7,2	1,4	7,2	1,5	8,6	2,6	9,7	3,2	10,7	3,6	11,5	3,6	9,8	3,4
Ponta do Clérigo	12,4	3,6	11,4	3,6	10,9	3,4	10,1	3,1	9,2	2,6	7,9	1,8	7,2	1,3	7,2	1,5	8,6	2,6	8,6	2,6	10,7	3,6	11,5	3,6	9,7	3,4
Faial	12,4	3,6	11,4	3,5	11,0	3,5	10,0	3,1	9,2	2,6	7,9	1,8	7,2	1,3	7,2	1,5	8,6	2,6	9,7	3,2	10,7	3,6	11,4	3,6	9,7	3,4
Porto da Cruz	12,4	3,5	11,3	3,6	11,0	3,5	10,0	3,1	9,2	2,6	7,9	0,8	7,2	1,3	7,2	1,5	8,6	2,6	9,7	3,2	10,6	3,6	11,5	3,6	9,7	3,4
Ponta Esp. Amarelo	12,3	3,6	11,3	3,6	10,9	3,5	10,0	3,1	9,2	2,6	7,9	1,8	7,2	1,5	7,2	1,5	8,6	2,6	9,7	3,2	10,6	3,6	11,4	3,5	9,7	3,4
Ilhéu de Branca	12,4	3,5	11,5	3,6	11,0	3,5	10,1	3,1	9,2	2,6	8,0	2,0	7,2	1,4	7,2	1,5	8,6	2,6	9,7	3,2	10,7	3,6	11,4	3,5	9,7	3,4
São Lourenço	12,9	3,1	11,7	3,5	11,4	3,2	10,6	3,0	9,4	2,6	8,3	2,1	6,3	0,5	7,5	1,6	7,4	1,8	9,0	2,6	10,3	3,0	11,2	3,4	11,8	3,4
Enseada	13,1	2,8	12,2	3,1	11,7	2,9	11,0	2,6	9,7	2,3	8,8	1,8	8,0	1,3	8,1	1,4	9,6	2,3	10,7	2,6	11,7	3,0	12,3	2,9	10,6	3,0
Canical	11,2	4,6	10,5	4,3	10,3	3,6	9,5	3,0	8,6	2,7	8,1	1,7	7,7	1,0	7,6	1,3	8,7	2,6	9,7	3,2	10,0	3,7	10,3	3,9	9,3	3,3
Machico	8,8	4,3	8,9	4,3	8,0	2,4	7,5	1,7	7,0	1,6	7,1	1,1	7,1	0,5	6,9	0,7	7,1	1,4	7,4	1,8	8,0	3,2	8,5	3,7	7,7	2,7
Aeroporto	11,9	4,3	11,0	4,1	10,6	3,4	9,8	3,0	8,8	2,7	8,1	1,8	7,7	1,0	7,6	1,4	8,7	2,6	9,9	3,3	10,3	3,7	10,8	4,0	9,6	3,4
Ponta do Garajau	11,8	4,1	11,2	3,8	10,8	3,8	10,1	3,2	8,7	2,3	8,4	2,4	7,3	1,8	7,1	1,7	8,4	2,8	9,1	3,3	10,1	3,5	11,3	3,9	9,5	3,5
Funchal	7,8	1,6	7,9	1,6	8,2	1,7	7,9	1,8	7,3	1,8	7,6	2,3	7,4	1,9	6,9	1,8	7,0	1,8	7,4	1,5	7,7	1,5	8,0	1,7	7,6	1,8
Câmara de Lobos	13,0	2,5	12,3	2,7	11,9	2,5	11,5	2,5	10,1	2,4	9,4	2,2	8,9	2,0	8,7	2,2	10,2	2,7	11,2	2,7	11,9	3,0	12,4	2,7	11,0	2,9
Ribeira Brava	12,8	2,8	11,8	3,1	11,6	3,6	10,7	2,9	9,3	2,5	8,5	2,2	7,8	2,1	8,0	1,8	9,2	2,3	10,0	2,5	11,0	3,0	12,0	3,1	10,2	3,1
Ponta do Sol	13,1	2,7	12,1	3,0	11,7	2,7	11,1	2,7	9,8	2,5	9,0	2,3	8,0	2,1	8,2	1,8	9,6	2,3	10,6	2,4	11,5	2,8	12,3	2,9	10,6	3,0
Calheta	13,0	2,7	12,2	3,2	12,0	3,2	11,3	3,0	9,4	2,6	8,5	2,2	7,5	1,8	7,9	1,8	9,5	2,6	10,8	2,8	11,6	3,1	12,5	3,0	10,5	3,3
Paúl do Mar	13,2	2,6	12,2	3,0	11,9	2,8	11,1	2,6	9,8	2,2	8,7	1,7	8,1	1,3	8,2	1,3	9,6	2,2	10,8	2,6	11,7	2,8	12,4	2,8	10,6	2,9

Tabela B.9: Mínimo (Min.), moda e máximo (Máx.) da variação anual do período de pico unidireccional (s). Fonte: <http://www2.arem.pt/ondatlases/madeira.htm>

Mês Localidade	Janeiro			Fevereiro			Março			Abril			Mai			Junho		
	Min.	Moda	Máx.	Min.	Moda	Máx.	Min.	Moda	Máx.	Min.	Moda	Máx.	Min.	Moda	Máx.	Min.	Moda	Máx.
Ponta do Pargo	5,4	12,8	21,4	6,3	11,7	18,4	6,3	11,3	21,4	6,3	10,7	21,4	6,3	9,5	18,4	5,4	8,6	18,4
Achadas da Cruz	4,6	12,5	18,4	4,6	11,1	18,4	4,6	10,9	21,4	4,6	10,1	21,4	4,6	9,0	18,4	4,0	8,1	18,4
Ponta do Tristão	4,0	12,8	21,4	6,3	11,7	21,4	4,0	11,3	21,4	6,3	10,7	21,4	4,0	9,5	18,4	4,0	8,6	18,4
Porto Moniz	4,6	12,5	21,4	4,6	11,2	18,4	4,6	11,0	21,4	5,4	10,1	21,4	4,6	9,1	18,4	4,0	8,0	15,8
Ponta das Contreiras	4,6	12,4	21,4	4,6	11,0	18,4	4,6	10,9	18,4	4,6	10,0	21,4	4,6	9,0	18,4	4,0	8,0	15,8
Seixal	4,6	11,6	21,4	4,6	10,5	21,4	4,6	10,2	21,4	4,6	9,3	21,4	4,6	8,8	18,4	4,0	7,7	15,8
São Vicente	4,0	12,8	21,4	4,0	11,6	21,4	4,0	11,3	21,4	6,3	10,6	21,4	4,0	9,5	18,4	4,0	8,5	15,8
Ponta Delgada	4,6	11,9	21,4	4,6	10,9	21,4	4,6	10,5	21,4	5,4	9,7	21,4	4,6	8,9	18,4	4,0	7,7	13,5
Ponta de São Jorge	4,6	11,9	21,4	4,6	10,9	21,4	4,6	10,4	21,4	5,4	9,7	21,4	4,6	8,8	18,4	4,0	7,7	13,5
Ponta do Clérigo	4,6	11,8	21,4	4,6	10,8	21,4	4,6	10,4	21,4	5,4	9,6	21,4	4,6	8,8	18,4	4,0	7,7	13,5
Faial	4,6	11,8	21,4	4,6	10,8	21,4	4,6	10,4	21,4	4,6	9,6	21,4	4,6	8,9	18,4	4,0	7,7	13,5
Porto da Cruz	4,6	11,8	21,4	4,6	10,7	21,4	4,6	10,4	21,4	4,6	9,5	21,4	4,6	8,9	18,4	4,0	7,7	15,8
Ponta do Esp. Amarelo	4,6	11,7	21,4	4,6	10,7	21,4	4,6	10,3	21,4	5,4	9,5	21,4	4,6	8,8	18,4	4,0	7,7	15,8
Ilhéu de Branca	4,6	11,8	21,4	4,6	10,8	21,4	4,6	10,4	21,4	5,4	9,6	21,4	4,6	8,9	18,4	4,0	7,8	18,4
São Lourenço	4,6	12,5	18,4	4,6	11,1	18,4	4,6	10,9	21,4	4,6	10,1	21,4	4,6	9,0	18,4	4,0	8,1	18,4
Enseada	6,3	12,8	18,4	5,4	11,8	18,4	5,4	11,3	21,4	6,3	10,7	21,4	6,3	9,5	18,4	4,6	8,6	18,4
Canical	4,6	10,4	25,0	4,6	9,8	21,4	4,6	9,8	21,4	4,6	9,2	21,4	4,6	8,3	18,4	4,6	7,9	18,4
Machico	4,6	8,2	21,4	4,6	8,3	21,4	4,6	7,8	21,4	4,6	7,4	21,4	3,4	6,9	21,4	4,6	7,1	18,4
Aeroporto	5,4	11,2	25,0	4,6	10,3	21,4	4,6	10,1	21,4	4,6	9,4	21,4	4,6	8,4	21,4	4,6	7,9	18,4
Ponta do Garajau	4,6	7,7	11,6	4,6	7,8	11,6	4,6	8,0	11,6	4,0	7,8	11,6	4,6	7,1	11,6	4,6	7,3	18,4
Funchal	4,6	7,7	11,6	4,6	7,8	11,6	4,6	8,0	11,6	4,0	7,8	11,6	4,6	7,1	11,6	4,6	7,3	18,4
Câmara de Lobos	5,4	12,7	21,4	5,4	12,0	18,4	4,6	11,6	18,4	4,6	11,1	18,4	4,6	9,9	15,8	4,6	8,7	18,4
Ribeira Brava	5,4	12,4	21,4	4,6	11,3	21,4	4,6	10,3	21,4	4,6	9,0	15,8	4,6	8,3	15,8	4,6	8,3	18,4
Ponta do Sol	5,4	12,8	21,4	4,6	11,7	21,4	5,4	11,4	18,4	4,6	10,8	18,4	4,6	9,4	15,8	4,6	8,7	18,4
Calheta	5,4	12,7	21,4	5,4	8,7	21,4	5,4	11,5	21,4	4,6	10,8	21,4	4,6	9,1	15,8	4,6	8,2	18,4
Paúl do Mar	5,4	13,0	18,4	6,3	11,8	18,4	6,3	11,6	21,4	6,3	10,8	21,4	5,4	9,5	18,4	5,4	8,6	18,4

Tabela B.9 (cont.): Mínimo (Min.), moda e máximo (Máx.) da variação anual do período de pico unidireccional (s). Fonte: <http://www2.areas.pt/ondatas/madeira.htm>

Mês Localidade	Julho			Agosto			Setembro			Outubro			Novembro			Dezembro			Anual		
	Min.	Moda	Máx.	Min.	Moda	Máx.	Min.	Moda	Máx.	Min.	Moda	Máx.	Min.	Moda	Máx.	Min.	Moda	Máx.	Min.	Moda	Máx.
Ponta do Pargo	5,4	8,0	15,8	5,4	8,0	13,5	5,4	9,3	18,4	5,4	10,4	18,4	5,4	11,2	18,4	6,3	11,9	18,4	5,4	10,2	21,4
Achadas da Cruz	4,0	7,4	15,8	4,6	7,2	13,5	4,6	8,6	15,8	4,6	9,8	18,4	4,6	10,7	18,4	4,6	11,2	18,4	4,0	9,6	21,4
Ponta do Tristão	4,0	7,9	15,8	4,0	7,9	13,8	4,0	9,3	15,8	4,0	10,4	18,4	4,0	11,2	18,4	4,0	11,9	18,4	4,0	10,1	21,4
Porto Moniz	4,0	7,4	15,8	4,6	7,2	13,5	4,6	8,6	15,8	4,6	9,9	18,4	4,6	10,7	18,4	4,6	11,4	18,4	4,0	9,6	21,4
Ponta das Contreiras	4,0	7,3	15,8	4,6	7,2	13,5	4,6	8,6	15,8	4,6	9,7	18,4	4,6	10,6	18,4	4,6	11,2	18,4	4,0	9,5	21,4
Seixal	4,0	7,1	13,5	4,6	7,1	13,5	4,6	8,2	15,8	4,6	9,2	18,4	4,6	9,9	18,4	4,6	10,6	18,4	4,0	9,1	21,4
São Vicente	4,0	7,9	15,8	4,0	7,9	13,5	4,0	9,3	15,8	4,0	10,4	18,4	4,0	11,2	18,4	4,0	11,8	18,4	4,0	10,1	21,4
Ponta Delgada	4,0	7,1	15,8	4,6	7,1	13,5	4,6	8,3	15,8	4,6	9,2	18,4	4,6	10,1	18,4	4,6	11,0	18,4	4,0	9,2	21,4
Ponta de São Jorge	4,0	7,1	15,8	4,6	7,1	13,5	4,6	8,3	15,8	4,6	9,2	18,4	4,6	10,1	18,4	4,6	10,9	18,4	4,0	9,2	21,4
Ponta do Clérigo	4,0	7,1	15,8	4,6	7,1	13,5	4,6	8,3	18,4	4,6	9,2	18,4	4,6	10,0	18,4	4,6	10,9	18,4	4,0	6,5	21,4
Faial	4,0	7,1	15,8	4,6	7,1	13,5	4,6	8,3	15,8	4,6	9,2	18,4	4,6	10,0	18,4	4,6	10,8	18,4	4,0	9,2	21,4
Porto da Cruz	4,0	7,1	15,8	4,6	7,1	13,5	4,6	8,2	15,8	4,6	9,2	18,4	4,6	10,0	18,4	4,6	10,8	18,4	4,0	9,2	21,4
Ponta do Esp. Amarelo	4,0	7,1	15,8	4,6	7,1	13,5	4,6	8,2	15,8	4,6	9,2	18,4	4,6	9,9	18,4	4,6	10,8	18,4	4,0	9,1	21,4
Ilhéu de Branca	4,0	7,1	15,8	4,6	7,1	13,5	4,6	8,2	15,8	4,6	9,2	18,4	4,6	10,0	18,4	4,6	10,8	18,4	4,0	9,2	21,4
São Lourenço	4,0	7,4	15,8	4,6	7,2	13,5	4,6	8,6	15,8	4,6	9,8	18,4	4,6	10,7	18,4	4,6	11,2	18,4	4,0	9,6	21,4
Enseada	5,4	7,9	15,8	5,4	8,0	13,5	5,4	9,4	18,4	4,6	10,4	18,4	5,4	11,3	18,4	5,4	11,9	18,4	4,6	10,2	21,4
Canical	4,6	7,7	13,5	3,4	7,5	13,5	4,6	8,3	18,4	4,6	9,2	21,4	4,6	9,4	21,4	4,6	9,7	21,4	3,4	8,9	25,0
Machico	4,6	7,1	8,5	3,4	6,9	8,5	4,6	7,0	21,4	4,6	7,2	21,4	4,6	7,7	21,4	4,6	8,0	21,4	3,4	7,4	21,4
Aeroporto	4,6	7,6	11,6	3,4	7,5	15,8	4,6	8,4	21,4	4,6	9,5	21,4	4,6	9,7	21,4	4,6	10,2	21,4	3,4	9,1	25,0
Ponta do Garajau	3,4	7,2	11,6	4,6	6,7	11,6	3,4	6,8	11,6	3,4	7,2	11,6	4,6	7,5	11,6	4,6	7,8	11,6	3,4	7,4	18,4
Funchal	3,4	7,2	11,6	4,6	6,7	11,6	3,4	6,8	11,6	3,4	7,2	11,6	4,6	7,5	11,6	4,6	7,8	11,6	3,4	7,4	18,4
Câmara de Lobos	4,6	8,7	15,8	4,6	8,4	13,5	4,6	9,9	18,4	4,6	10,9	18,4	4,6	11,5	18,4	5,4	12,1	18,4	4,6	10,6	21,4
Ribeira Brava	4,6	7,5	15,8	4,6	7,8	13,5	4,6	8,9	18,4	4,6	9,7	21,4	4,6	10,6	21,4	5,4	11,5	21,4	4,6	9,7	21,4
Ponta do Sol	4,6	7,7	15,8	4,6	8,0	13,5	4,6	9,4	15,8	4,6	10,3	18,4	4,6	11,2	18,4	5,4	12,0	18,4	4,6	10,1	21,4
Calheta	5,4	7,4	15,8	5,4	7,8	15,8	4,6	9,2	15,8	4,6	10,4	18,4	4,6	11,2	21,4	5,4	12,1	21,4	4,6	10,0	21,4
Paúl do Mar	6,3	8,0	15,8	6,3	8,1	13,5	5,4	9,3	15,8	5,4	10,5	18,4	5,4	11,4	18,4	5,4	12,0	18,4	5,4	10,2	21,4

Tabela B.10: Densidade de probabilidade do período de pico unidireccional (‰/s). Fonte: <http://www2.areas.pt/ondatlas/madeira.htm>

Período (s) Localidade	3 – 4	4 – 5	5 – 6	6 – 7	7 – 8	8 – 9	9 – 10	10 – 11	11 – 12	12 – 13	13 – 14	14 – 15	15 – 16	16 – 17	17 – 18	18 – 19	19 – 20	20 – 21	> 21
Ponta do Pargo				13,1	116,2	168,5	160,4	128,6	111,5	91,5	73,4	50,9	36,5	21,3	13,1	9,4	3,0	1,3	2,3
Achadas da Cruz				11,5	112,1	160,9	155,7	125,1	109,2	94,1	78,7	58,1	42,9	26,6	15,3	6,6	2,1	0,8	0,5
Ponta do Tristão				16,8	127,8	171,1	154,0	120,8	103,5	88,7	69,8	51,4	36,7	26,2	16,6	10,4	4,1	1,2	1,8
Porto do Moniz			0,1	40,8	177,9	213,2	153,3	117,5	82,7	64,1	44,7	29,3	24,0	18,9	13,1	10,6	5,0	3,2	2,8
Ponta das Contreiras			1,5	56,7	228,2	263,6	171,3	109,0	72,8	43,0	23,6	13,2	8,1	5,5	1,8	1,1	0,2	0,1	0,2
Seixal			0,1	35,9	169,2	228,0	173,0	115,0	87,0	62,5	44,8	32,4	19,9	14,9	8,9	5,0	1,6	1,2	0,6
São Vicente				19,8	120,3	194,1	171,1	131,5	101,9	80,1	59,1	43,9	29,2	21,5	14,0	8,4	3,1	1,4	1,3
Ponta Delgada				22,2	134,9	178,3	152,9	116,1	101,0	79,1	64,1	45,9	34,2	28,1	19,1	12,5	7,3	2,8	2,7
Ponta de São Jorge				24,6	139,9	179,8	149,8	112,5	97,7	80,2	65,4	47,4	37,2	27,6	17,1	11,9	5,3	2,3	2,5
Ponta do Clérigo			0,5	50,9	202,5	227,0	159,1	111,2	77,6	57,0	35,3	23,4	17,3	14,7	8,5	6,4	4,9	2,6	1,7
Faial			0,9	53,3	209,1	236,7	162,3	113,0	75,9	53,4	31,6	20,6	15,1	9,9	6,9	5,1	3,0	1,8	2,2
Porto da Cruz			0,8	50,2	203,6	236,4	165,2	111,2	78,8	54,6	35,7	23,8	14,7	10,9	7,5	3,5	2,1	0,8	0,5
Ponta do Esp. Amarelo			0,2	40,5	182,4	226,6	169,2	119,5	89,3	60,9	43,0	26,2	18,6	11,1	6,6	4,0	1,4	0,3	0,3
Ilhéu de Branca				38,5	177,1	209,7	157,7	115,9	87,3	64,2	47,0	33,1	22,7	16,9	13,6	7,6	4,9	2,5	1,8
São Lourenço			0,8	62,2	228,8	239,0	166,7	105,3	69,7	44,8	30,5	18,7	12,7	8,8	5,8	3,3	1,7	0,9	0,8
Enseada			0,3	43,9	157,9	185,9	152,2	119,5	89,3	70,5	51,3	40,0	27,2	21,6	15,3	11,3	6,6	4,4	4,1
Canical		7,1	156,8	397,5	268,9	97,3	38,4	18,4	6,8	2,6	2,6	0,7	0,8	0,5	0,5	0,7	0,1	0,1	0,3
Machico		11,0	220,1	475,8	220,4	47,2	16,2	4,9	2,0	1,0	0,3	0,1	0,2	0,2	0,1	0,2	0,3	0,1	
Aeroporto		5,1	130,1	382,6	300,4	105,6	39,4	21,0	7,3	3,1	1,4	1,6	1,2	0,4	0,3	0,1	0,1		0,3
Ponta do Garajau		1,7	87,6	287,7	234,9	151,9	98,7	52,8	34,2	23,9	12,1	6,8	4,5	1,1	0,7	0,8	0,1	0,1	0,6
Funchal		60,7	436,5	282,7	122,5	55,1	27,5	10,5	2,7	0,3	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,7
Câmara de Lobos		1,2	105,8	187,2	165,6	140,7	116,2	87,7	62,4	47,0	31,6	22,9	15,8	7,5	4,6	1,7	1,0	0,5	1,0
Ribeira Brava		1,0	108,6	189,6	183,3	156,7	117,7	80,1	56,4	38,0	25,5	19,1	10,9	7,3	3,1	1,1	0,8	0,5	0,5
Ponta do Sol		0,3	83,5	158,0	164,4	147,8	116,8	33,7	72,8	53,0	40,5	28,0	20,8	12,5	6,8	2,9	1,3	1,1	1,4
Calheta		2,9	115,7	173,1	176,8	158,5	124,0	86,3	57,9	40,4	25,5	17,1	10,8	6,5	2,3	0,9	0,8	0,2	0,5
Paúl do Mar			2,2	81,1	149,0	150,1	139,4	121,6	100,4	86,5	66,5	44,9	28,6	16,4	8,1	2,9	1,4	0,8	0,2

Tabela B.11: Média (Méd.) e desvio padrão (D.P.) da variação anual da densidade de potência (kW/m). Fonte: <http://www2.areas.pt/ondatlas/madeira.htm>

Mês Localidade	Janeiro		Fevereiro		Março		Abril		Maio		Junho		Julho		Agosto		Setembro		Outubro		Novembro		Dezembro		Anual	
	Méd.	D.P.	Méd.	D.P.	Méd.	D.P.	Méd.	D.P.	Méd.	D.P.	Méd.	D.P.	Méd.	D.P.	Méd.	D.P.	Méd.	D.P.	Méd.	D.P.	Méd.	D.P.	Méd.	D.P.	Méd.	D.P.
Ponta do Pargo	59,0	79,0	37,0	41,0	37,0	48,0	26,0	24,0	17,0	16,0	11,0	8,0	10,0	6,0	9,0	6,0	13,0	12,0	24,0	28,0	35,0	46,0	45,0	59,0	27,0	41,0
Achadas da Cruz	70,0	96,0	47,0	51,0	43,0	58,0	30,0	29,0	20,0	19,0	12,0	9,0	12,0	7,0	10,0	7,0	15,0	14,0	28,0	34,0	42,0	54,0	53,0	73,0	32,0	50,0
Ponta do Tristão	75,0	108,0	49,0	54,0	45,0	58,0	32,0	30,0	20,0	19,0	14,0	10,0	13,0	8,0	11,0	8,0	16,0	15,0	28,0	35,0	43,0	54,0	55,0	76,0	34,0	53,0
Porto do Moniz	34,0	43,0	25,0	24,0	25,0	27,0	20,0	17,0	12,0	10,0	10,0	8,0	12,0	7,0	9,0	6,0	11,0	9,0	15,0	14,0	22,0	23,0	26,0	29,0	18,0	22,0
Ponta das Contreiras	19,0	24,0	16,0	18,0	19,0	21,0	16,0	15,0	10,0	9,0	10,0	8,0	11,0	7,0	9,0	6,0	9,0	8,0	12,0	10,0	16,0	20,0	16,0	16,0	14,0	15,0
Seixal	30,0	38,0	23,0	25,0	26,0	31,0	21,0	20,0	12,0	11,0	11,0	9,0	12,0	8,0	10,0	7,0	12,0	10,0	16,0	15,0	23,0	30,0	24,0	26,0	18,0	23,0
São Vicente	48,0	64,0	34,0	38,0	37,0	47,0	28,0	29,0	16,0	15,0	13,0	11,0	14,0	9,0	11,0	9,0	15,0	14,0	22,0	23,0	33,0	47,0	36,0	42,0	26,0	36,0
Ponta Delgada	61,0	91,0	40,0	45,0	38,0	50,0	28,0	27,0	17,0	16,0	12,0	9,0	13,0	8,0	11,0	7,0	15,0	14,0	24,0	29,0	36,0	48,0	43,0	59,0	28,0	44,0
Ponta de São Jorge	64,0	93,0	43,0	46,0	39,0	51,0	29,0	27,0	18,0	16,0	13,0	9,0	13,0	8,0	11,0	8,0	15,0	14,0	25,0	30,0	37,0	46,0	46,0	62,0	29,0	45,0
Ponta do Clérigo	27,0	31,0	21,0	19,0	23,0	23,0	18,0	16,0	11,0	10,0	10,0	8,0	11,0	7,0	9,0	6,0	10,0	8,0	14,0	12,0	19,0	21,0	21,0	21,0	16,0	18,0
Faial	24,0	29,0	20,0	19,0	22,0	23,0	18,0	16,0	11,0	10,0	10,0	8,0	11,0	7,0	9,0	6,0	10,0	9,0	14,0	11,0	19,0	22,0	20,0	19,0	16,0	17,0
Porto da Cruz	24,0	29,0	20,0	20,0	22,0	24,0	18,0	16,0	11,0	10,0	10,0	8,0	11,0	7,0	9,0	6,0	10,0	9,0	14,0	12,0	19,0	24,0	20,0	20,0	16,0	18,0
Ponta Esp. Amarelo	28,0	34,0	22,0	23,0	25,0	27,0	20,0	3,1	9,0	2,6	7,9	1,8	7,2	1,5	7,2	1,5	8,6	2,6	9,7	3,2	10,6	3,6	11,4	3,5	9,7	3,4
Ilhéu de Branca	42,0	52,0	30,0	29,0	31,0	35,0	23,0	22,0	14,0	12,0	11,0	9,0	12,0	7,0	10,0	7,0	13,0	11,0	20,0	19,0	28,0	33,0	32,0	35,0	22,0	28,0
São Lourenço	11,0	17,0	7,0	8,0	7,0	10,0	4,0	4,0	4,0	6,0	2,0	2,0	1,0	1,0	1,0	1,0	2,0	4,0	5,0	8,0	6,0	7,0	11,0	18,0	5,0	10,0
Enseada	21,0	25,0	13,0	13,0	13,0	16,0	9,0	9,0	6,0	5,0	4,0	3,0	4,0	3,0	3,0	2,0	5,0	5,0	9,0	9,0	12,0	15,0	16,0	19,0	10,0	14,0
Canical	6,0	7,0	4,0	4,0	5,0	5,0	3,0	4,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,0	2,0	1,0	2,0	3,0	3,0	4,0	4,0	3,0	6,0	8,0	3,0	5,0
Machico	6,0	7,0	4,0	4,0	5,0	4,0	3,0	4,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,0	2,0	1,0	2,0	2,0	3,0	3,0	4,0	3,0	6,0	7,0	3,0	4,0
Aeroporto	7,0	8,0	5,0	5,0	6,0	6,0	5,0	5,0	2,0	3,0	2,0	2,0	3,0	2,0	2,0	2,0	2,0	3,0	4,0	4,0	5,0	4,0	7,0	8,0	4,0	5,0
Ponta do Garajau	12,0	18,0	7,0	8,0	8,0	12,0	5,0	4,0	4,0	6,0	2,0	2,0	2,0	1,0	2,0	1,0	2,0	4,0	5,0	9,0	7,0	7,0	13,0	20,0	6,0	10,0
Funchal	8,0	14,0	4,0	6,0	5,0	11,0	3,0	3,0	2,0	5,0	1,0	2,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	4,0	4,0	8,0	4,0	7,0	9,0	17,0	4,0	9,0
Câmara de Lobos	14,0	20,0	8,0	10,0	8,0	11,0	5,0	4,0	4,0	6,0	2,0	2,0	1,0	1,0	1,0	1,0	2,0	4,0	5,0	9,0	7,0	8,0	13,0	21,0	6,0	11,0
Ribeira Brava	13,0	19,0	7,0	9,0	7,0	11,0	4,0	4,0	4,0	6,0	2,0	2,0	1,0	1,0	1,0	1,0	2,0	4,0	5,0	8,0	7,0	8,0	12,0	19,0	5,0	10,0
Ponta do Sol	18,0	27,0	10,0	13,0	10,0	14,0	6,0	5,0	5,0	7,0	2,0	3,0	1,0	1,0	1,0	1,0	3,0	4,0	6,0	10,0	9,0	10,0	16,0	25,0	7,0	14,0
Calheta	11,0	17,0	7,0	8,0	7,0	10,0	4,0	4,0	4,0	6,0	2,0	2,0	1,0	1,0	1,0	1,0	2,0	4,0	5,0	8,0	6,0	7,0	11,0	18,0	5,0	10,0
Paúl do Mar	29,0	38,0	18,0	20,0	16,0	21,0	10,0	9,0	9,0	10,0	4,0	4,0	3,0	2,0	3,0	2,0	5,0	6,0	11,0	15,0	16,0	18,0	24,0	34,0	12,0	21,0

Tabela B.12: Mínimo (Min.), moda e máximo (Máx.) da variação anual da densidade de potência (KW/m). Fonte: <http://www2.areas.pt/ondatlases/madeira.htm>

Mês Localidade	Janeiro			Fevereiro			Março			Abril			Maio			Junho		
	Min.	Moda	Máx.	Min.	Moda	Máx.	Min.	Moda	Máx.	Min.	Moda	Máx.	Min.	Moda	Máx.	Min.	Moda	Máx.
Ponta do Pargo	2	34	669	4	24	338	4	25	485	4	20	217	2	13	111	2	9	69
Achadas da Cruz	2	40	763	4	29	444	4	28	627	4	23	256	3	14	160	2	10	87
Ponta do Tristão	3	43	949	6	32	513	4	31	657	5	25	284	3	15	167	2	11	98
Porto Moniz	2	21	361	3	18	197	3	17	238	2	15	124	1	9	69	1	8	84
Ponta das Contreiras	2	12	208	2	11	155	2	13	218	2	12	113	1	7	60	1	7	81
Seixal	2	18	297	2	16	213	2	17	298	2	15	151	1	9	68	1	8	93
São Vicente	2	27	437	3	23	319	4	24	452	2	20	228	1	11	91	1	10	129
Ponta Delgada	2	33	780	4	26	447	4	25	527	3	21	245	2	12	134	2	10	94
Ponta de São Jorge	2	37	807	4	28	448	4	26	549	3	22	250	2	13	141	2	10	92
Ponta do Clérigo	2	17	217	2	15	151	2	16	222	2	14	113	1	8	61	1	8	80
Faial	2	16	221	2	14	158	2	15	230	2	14	116	1	8	61	1	8	82
Porto da Cruz	2	15	238	2	14	163	2	15	240	2	14	116	1	8	61	1	8	82
Ponta do Esp. Amarelo	2	18	273	2	16	181	3	17	270	2	15	122	1	9	63	1	8	86
Ilhéu de Branca	3	26	372	3	21	240	4	21	299	3	18	191	2	10	75	1	9	86
São Lourenço	1	3	174	0	4	79	0	4	103	0	3	36	0	2	63	0	1	27
Enseada	1	13	204	1	9	113	1	9	156	1	7	81	1	4	35	1	3	31
Canical	1	4	76	0	3	24	0	3	58	0	2	28	0	1	20	0	1	13
Machico	0	4	63	0	3	29	0	3	41	0	2	29	0	1	14	0	1	13
Aeroporto	1	5	75	1	4	38	1	4	53	0	3	44	0	2	20	0	1	20
Ponta do Garajau	1	8	167	1	5	85	1	5	150	1	4	31	0	2	73	0	1	27
Funchal	1	4	105	0	3	66	0	3	151	0	2	22	0	1	64	0	1	23
Câmara de Lobos	1	8	221	1	5	89	1	5	115	1	3	39	0	2	68	0	1	29
Ribeira Brava	1	8	202	1	5	83	1	5	111	0	3	37	0	2	66	0	1	28
Ponta do Sol	1	10	316	1	6	105	1	4	48	1	3	79	1	3	79	0	2	32
Calheta	1	7	174	0	4	79	0	4	103	0	3	36	0	2	63	0	1	27
Paúl do Mar	1	18	414	1	11	141	1	10	211	1	8	78	1	6	100	1	3	40

Tabela B.12 (cont.): Mínimo (Min.), moda e máximo (Máx.) da variação anual da densidade de potência (KW/m). Fonte: <http://www2.areas.pt/ondatlas/madeira.htm>

Localidade	Mês			Julho			Agosto			Setembro			Outubro			Novembro			Dezembro			Anual		
	Min.	Moda	Máx.	Min.	Moda	Máx.	Min.	Moda	Máx.	Min.	Moda	Máx.	Min.	Moda	Máx.	Min.	Moda	Máx.	Min.	Moda	Máx.	Min.	Moda	Máx.
Ponta do Pargo	2	9	37	2	7	66	2	10	118	2	16	264	2	22	469	2	27	559	2	16	669			
Achadas da Cruz	2	10	46	3	8	74	2	12	131	2	18	359	2	26	523	3	31	713	2	19	763			
Ponta do Tristão	2	11	54	3	9	73	2	13	132	2	19	405	3	28	504	3	34	771	2	20	949			
Porto Moniz	2	9	49	2	7	44	2	8	75	1	11	159	2	15	202	1	17	281	1	12	361			
Ponta das Contreiras	1	9	48	1	7	43	1	7	74	0	9	75	1	10	188	1	11	126	0	9	218			
Seixal	2	10	53	1	8	48	1	9	101	1	12	101	1	15	321	1	15	215	1	12	321			
São Vicente	2	11	67	2	9	66	2	11	141	1	16	188	2	20	489	2	22	359	1	16	489			
Ponta Delgada	2	11	52	2	9	66	2	11	126	1	16	341	2	23	475	2	26	587	1	17	780			
Ponta de São Jorge	2	11	51	2	9	68	2	11	116	1	17	346	2	24	424	2	28	622	1	18	807			
Ponta do Clérigo	2	9	48	1	7	43	1	8	73	1	10	91	1	14	195	1	15	163	1	11	222			
Faial	2	9	48	1	7	44	1	8	78	1	10	77	1	13	211	1	14	137	1	11	230			
Porto da Cruz	1	9	48	1	7	43	1	8	86	1	10	78	1	13	247	1	13	141	1	11	247			
Ponta do Esp. Amarelo	2	10	49	2	8	45	1	9	96	1	11	94	1	14	278	1	15	172	1	12	278			
Ilhéu de Branca	2	10	50	2	8	54	2	10	95	1	14	172	2	19	336	2	22	304	1	15	372			
São Lourenço	0	1	4	0	1	4	0	1	4	0	3	102	1	4	58	1	6	137	0	2	174			
Enseada	1	3	16	1	3	21	1	4	40	1	6	90	1	8	145	1	11	181	1	6	204			
Canical	0	1	8	0	1	8	0	1	34	0	2	42	0	3	29	1	4	87	0	2	87			
Machico	0	1	8	0	1	8	0	1	25	0	2	40	0	3	25	1	4	73	0	2	73			
Aeroporto	0	2	12	0	2	11	0	2	31	0	2	43	1	4	29	1	5	85	0	3	85			
Ponta do Garajau	0	1	6	0	1	7	0	2	68	1	3	129	1	5	80	1	7	151	0	3	167			
Funchal	0	1	2	0	1	3	0	1	69	0	2	118	0	3	84	1	4	134	0	2	151			
Câmara de Lobos	0	1	6	0	1	4	0	1	57	0	3	114	1	5	61	1	7	166	0	3	221			
Ribeira Brava	0	1	5	0	1	4	0	1	56	0	3	109	1	4	60	1	6	151	0	3	202			
Ponta do Sol	0	1	8	0	1	5	0	2	60	0	4	131	1	6	76	1	8	218	0	3	316			
Calheta	0	1	4	0	1	4	0	1	53	0	3	102	1	4	58	1	6	137	0	2	174			
Paúl do Mar	1	3	15	1	2	23	1	4	62	1	7	154	1	10	128	2	14	322	1	7	414			

Tabela B.13: Densidade de probabilidade da densidade de potência ($\%_{00}/(kW/m)$). Fonte: <http://www2.areas.pt/ondas/madeira.htm>

Potência (kW/m) Localidade	< 1	1 – 2	2 – 3	3 – 4	4 – 5	5 – 10	10 – 15	15 – 20	20 – 25	25 – 30	30 – 40	40 – 50	50 – 100	100 – 200	200 – 300	300 – 500	500 – 1000	1000 – 2000	2000 – 5000
Ponta do Pargo		1,9	12,6	32,0	46,2	48,2	35,9	23,9	16,8	11,2	6,7	4,0	1,6	0,3	0,1				
Achadas da Cruz		0,8	10,0	20,5	37,0	42,0	34,4	24,8	17,1	13,0	8,0	4,6	1,9	0,4	0,1				
Ponta do Tristão				16,8	127,8	171,1	154,0	120,8	103,5	88,7	69,8	51,4	36,7	26,2	16,6	10,4	4,1	1,2	0,8
Porto do Moniz	0,7	11,9	28,5	47,4	57,6	54,6	39,2	24,2	15,7	10,1	4,9	2,9	0,9	0,1					
Ponta das Contreiras	2,5	31,6	60,9	76,7	61,8	34,9	20,1	11,6	6,8	3,4	2,0	0,5							
Seixal	0,9	16,3	31,4	48,9	58,1	56,3	35,7	24,3	15,0	10,1	4,9	2,7	0,9	0,1					
São Vicente	0,4	6,6	17,3	30,9	41,5	44,5	36,0	25,7	17,5	12,0	7,8	3,8	1,5	0,3	0,1				
Ponta Delgada		4,0	12,4	25,1	38,1	44,8	35,2	25,6	18,8	12,5	7,3	4,3	1,5	0,3	0,1				
Ponta de São Jorge		2,5	11,3	20,8	34,0	42,7	34,1	26,1	19,2	13,5	7,9	4,3	1,7	0,3	0,1				
Ponta do Clérigo	0,9	16,8	34,2	51,5	60,9	58,6	38,2	24,3	15,0	8,7	4,4	2,6	0,7	0,1					
Faial	1,0	18,8	37,2	55,5	64,9	60,6	37,2	23,6	13,9	8,6	4,0	2,4	0,6	0,1					
Porto da Cruz	1,2	20,3	38,7	56,0	66,7	60,0	37,0	23,2	13,9	8,2	4,1	2,2	0,7	0,1					
Ponta Esp. Amarelo	0,8	13,6	29,2	49,0	58,9	57,5	37,9	24,4	15,0	9,7	4,7	2,6	0,8	0,1					
Ilhéu de Branca	0,1	6,1	18,4	30,3	42,0	49,6	38,0	27,0	17,3	12,1	6,6	3,5	1,2	0,2					
São Lourenço	0,2	11,2	24,7	41,9	50,5	55,5	39,3	26,0	17,1	10,1	5,1	2,8	0,8	0,1					
Enseada	25,7	97,7	125,3	110,0	96,6	57,1	20,9	10,8	5,3	3,8	2,4	1,0	0,3						
Canical	241,6	247,7	170,5	104,9	63,4	23,9	5,7	2,1	1,1	0,5	0,4	0,1							
Machico	268,6	251,9	154,2	101,3	59,0	23,6	5,2	2,1	1,0	0,7	0,2	0,1							
Aeroporto	179,5	221,2	159,4	115,8	79,8	33,0	8,7	3,2	1,7	0,9	0,5	0,1							
Ponta do Garajau	138,8	219,1	157,0	110,6	82,3	35,3	10,2	4,3	2,4	1,2	0,8	0,5	0,2						
Funchal	395,6	251,6	125,1	65,6	35,1	12,5	4,4	2,4	1,4	0,8	0,6	0,5	0,1						
Câmara de Lobos	197,5	230,1	134,7	84,1	64,4	31,8	10,5	4,9	2,9	1,6	1,1	0,7	0,2						
Ribeira Brava	217,1	235,9	133,5	83,4	63,5	30,1	9,2	4,5	2,6	1,5	1,0	0,6	0,2						
Ponta do Sol	144,9	221,1	141,0	86,2	62,3	34,2	14,2	6,5	3,7	2,3	1,3	0,9	0,3						
Calheta	261,0	233,0	123,6	81,7	56,7	27,4	8,6	4,1	2,3	1,3	1,0	0,5	0,2						
Paúl do Mar	7,5	120,1	140,1	80,3	44,3	21,1	12,9	8,3	5,2	3,2	1,7	0,5	0,1						

Tabela B.14: Excedência da densidade de potência (%₀₀). Fonte: <http://www2.areas.pt/ondatlas/madeira.htm>

Potência (kW/m) Localidade	> 0	> 1	> 2	> 3	> 4	> 5	> 10	> 15	> 20	> 25	> 30	> 40	> 50	> 100	> 200	> 300	> 500
Ponta do Pargo	1000,0	1000,0	998,1	985,5	953,5	907,0	665,9	486,6	366,9	283,0	227,2	160,3	119,9	41,1	10,8	4,8	0,5
Achadas da Cruz	1000,0	1000,0	999,2	989,3	968,7	931,7	721,7	549,5	425,5	340,2	275,1	195,1	55,5	15,7	7,6	1,7	
Ponta do Tristão	1000,0	1000,0	1000,0	991,6	977,5	948,2	756,2	592,0	463,0	369,3	298,0	208,2	158,6	58,0	16,6	7,9	2,3
Porto do Moniz	1000,0	999,3	987,4	958,9	911,5	853,8	581,1	384,9	264,0	185,6	135,3	85,9	57,0	13,8	2,1	0,2	
Ponta das Contreiras	1000,0	997,5	966,0	905,1	828,4	758,1	448,9	274,6	174,1	116,3	82,2	48,5	28,8	4,2	0,2		
Seixal	1000,0	999,1	982,8	951,5	902,6	844,5	562,8	384,1	262,4	187,6	137,0	88,0	60,7	15,8	1,4	0,1	
São Vicente	1000,0	999,6	993,0	975,7	944,8	903,3	680,8	501,0	372,4	284,8	224,9	147,2	109,0	35,5	8,5	2,6	
Ponta Delgada	1000,0	1000,0	996,0	983,6	958,6	920,5	696,7	520,6	392,8	298,8	236,3	163,3	120,6	43,1	12,3	5,3	1,2
Ponta de São Jorge	1000,0	1000,0	997,5	986,2	965,4	931,1	718,0	547,3	416,9	320,7	253,0	173,5	130,5	45,5	12,0	5,8	1,3
Ponta do Clérigo	1000,0	999,1	982,3	948,2	896,7	822,7	519,5	333,4	215,4	145,7	102,5	62,3	38,7	7,3	0,4		
Faial	1000,0	999,0	980,3	943,1	887,6	822,7	519,5	333,4	215,4	145,7	102,5	62,3	38,7	7,3	0,4		
Porto da Cruz	1000,0	998,8	978,4	939,8	883,8	817,0	517,3	332,0	215,8	146,4	105,3	63,9	41,7	8,2	0,6		
Ponta do Esp. Amarelo	1000,0	999,2	985,7	956,5	907,4	848,6	561,0	371,6	249,7	174,6	126,2	79,2	53,3	12,8	0,9		
Ilhéu de Branca	1000,0	999,9	993,8	975,4	945,1	903,1	655,3	465,2	330,1	183,1	116,8	82,1	22,5	4,9	0,8		
São Lourenço	1000,0	999,8	988,6	963,9	922,0	817,5	594,0	397,7	267,7	182,2	131,7	80,7	52,3	10,2	0,5		
Enseada	1000,0	974,3	876,6	751,4	640,3	543,7	258,1	153,5	99,3	72,6	53,7	30,0	19,8	4,3	0,1		
Canical	1000,0	758,4	510,7	340,2	235,4	172,0	52,4	24,0	13,5	8,1	5,3	1,8	0,8				
Machico	1000,0	731,4	479,5	325,3	224,0	165,0	47,0	21,1	10,7	2,6	0,9	0,3					
Aeroporto	1000,0	820,5	599,3	439,9	324,1	244,3	79,1	35,4	19,4	11,1	6,7	1,9	0,8				
Ponta do Garajau	1000,0	861,2	642,1	485,1	374,6	292,3	116,0	64,8	43,3	31,4	25,2	16,8	12,0	2,0			
Funchal	1000,0	604,4	352,8	227,8	162,1	127,0	64,6	42,7	30,6	23,8	19,8	13,3	8,5	1,2			
Câmara de Lobos	1000,0	802,5	572,4	437,6	353,5	289,1	129,9	77,4	52,9	38,4	30,3	19,4	12,8	1,9	0,1		
Ribeira Brava	1000,0	782,9	547,0	413,5	330,1	266,6	116,3	70,2	47,9	34,8	27,1	17,4	11,6	1,7	0,1		
Ponta do Sol	1000,0	855,1	634,0	493,0	406,8	344,5	173,7	102,9	70,4	51,7	40,2	27,2	18,4	4,4	0,4	0,1	
Calheta	1000,0	739,0	506,1	382,5	300,8	244,0	107,2	64,1	43,4	31,8	25,1	14,9	10,0	1,2			
Paúl do Mar	1000,0	992,5	872,4	732,3	627,5	547,2	325,6	220,1	155,7	114,2	88,2	55,9	38,6	11,2	1,5	0,4	

Tabela B.15: Média (Méd.) e desvio padrão (D.P.) da variação anual da direcção das ondas (°N). Fonte: <http://www2.arem.pt/ondatlas/madeira.htm>

Mês Localidade	Janeiro		Fevereiro		Março		Abril		Maio		Junho		Julho		Agosto		Setembro		Outubro		Novembro		Dezembro		Anual	
	Méd.	D.P.	Méd.	D.P.	Méd.	D.P.	Méd.	D.P.	Méd.	D.P.	Méd.	D.P.	Méd.	D.P.	Méd.	D.P.	Méd.	D.P.	Méd.	D.P.	Méd.	D.P.	Méd.	D.P.	Méd.	D.P.
Ponta do Pargo	301	37	312	32	318	29	324	29	317	29	336	31	347	36	341	33	330	29	321	29	313	31	305	34	322	31
Achadas da Cruz	300	44	307	41	318	35	323	34	316	35	335	33	346	37	339	34	329	33	321	34	313	37	305	41	319	35
Ponta do Tristão	308	45	314	42	322	37	326	36	319	38	334	33	348	34	341	32	331	34	324	36	320	38	312	43	322	39
Porto do Moniz	355	21	357	20	358	20	358	19	351	25	357	20	10	14	0	18	355	22	355	22	356	21	355	21	356	23
Ponta das Contreiras	3	18	5	17	6	16	7	16	356	23	3	18	16	12	6	16	1	20	1	20	4	18	3	18	3	20
Seixal	351	24	352	24	354	22	355	22	349	26	355	21	7	16	357	20	352	23	351	24	351	24	351	24	352	25
São Vicente	328	40	332	38	338	33	341	32	336	34	347	29	1	27	349	28	342	31	336	34	334	36	331	38	337	36
Ponta Delgada	316	41	322	39	330	33	336	31	330	33	341	30	351	30	343	29	337	31	330	33	327	35	322	38	330	34
Ponta de São Jorge	324	37	328	35	333	31	337	29	331	32	342	28	352	26	344	27	338	29	333	31	331	32	327	35	333	33
Ponta do Clérigo	359	20	1	19	1	18	1	19	352	25	358	25	358	21	10	14	1	18	357	22	357	21	359	20	359	23
Faial	359	20	1	19	2	18	1	19	352	26	359	21	11	14	2	18	357	22	357	22	359	20	359	20	359	23
Porto da Cruz	357	21	359	20	360	19	360	19	352	25	358	21	10	14	0	19	356	22	356	22	358	21	357	221	358	23
Ponta Esp. Amarelo	350	23	352	23	352	22	353	22	347	26	353	22	4	16	355	20	351	23	349	24	350	23	350	24	351	25
Ilhéu de Branca	344	29	346	29	347	27	348	27	339	32	349	27	1	23	352	25	346	28	343	30	344	29	343	30	345	33
São Lourenço	354	32	0	29	356	31	357	31	342	40	353	33	11	26	1	28	354	32	348	36	353	33	350	35	353	41
Enseada	324	34	333	32	333	31	338	30	333	31	345	30	353	32	349	31	342	30	333	31	329	33	324	35	337	42
Canical	133	43	119	34	122	37	109	32	133	43	97	32	82	37	88	34	99	31	125	39	126	39	134	44	115	36
Machico	130	39	116	30	119	33	109	29	129	39	97	29	84	34	88	32	100	29	123	35	124	35	130	39	114	32
Aeroporto	124	43	108	32	113	36	99	30	123	43	87	30	75	33	79	32	90	29	115	37	116	38	125	44	106	36
Ponta do Garajau	224	89	215	87	205	79	212	83	237	97	212	83	107	96	133	81	204	79	218	85	215	85	216	84	210	82
Funchal	190	51	180	48	181	48	180	48	202	58	170	46	129	58	140	52	168	46	196	54	190	52	190	51	178	48
Câmara de Lobos	232	46	229	48	227	46	233	47	243	50	236	48	214	46	220	45	233	47	230	46	228	46	228	46	230	49
Ribeira Brava	235	37	234	38	234	37	240	38	248	39	249	40	242	38	239	37	244	38	238	37	234	37	232	37	239	41
Ponta do Sol	246	38	246	39	245	38	251	39	258	40	261	41	258	40	254	39	255	39	248	38	245	38	242	38	251	43
Calheta	237	26	238	26	240	25	246	24	253	24	259	26	258	25	254	24	252	24	244	24	239	25	235	27	247	26
Paúl do Mar	272	26	277	24	279	22	287	21	291	21	298	23	307	28	305	26	296	22	285	21	279	23	272	26	288	24

Tabela B.16: Densidade de probabilidade da direcção das ondas ($\%_{00}/^{\circ}$). Fonte: <http://www2.areas.pt/ondatlas/madeira>.

Direcção Localidade	0° – 30°	30° – 60°	60° – 90°	90° – 120°	120° – 150°	150° – 180°	180° – 210°	210° – 240°	240° – 270°	270° – 300°	300° – 330°	330° – 0°
Ponta do Pargo	105,8					0,1	1,2	6,5	36,8	209,2	274,9	365,6
Achadas da Cruz	244,2	0,2							37,7	215,4	224,2	278,3
Ponta do Tristão	335,8	29,2							6,9	167,4	224,7	236,0
Porto do Moniz	620,4	112,2	1,3								0,1	266,0
Ponta das Contreiras	703,1	155,7	1,1									140,1
Seixal	572,4										2,3	317,0
São Vicente	398,0	128,1	0,6							5,3	211,9	256,1
Ponta Delgada	391,8	24,4							0,1	80,1	231,9	271,8
Ponta de São Jorge	396,2	45,7	1,7							17,5	261,4	277,5
Ponta do Clérigo	648,1	138,6	4,5									208,8
Faial	648,6	144,8	4,7	0,1							0,1	201,7
Porto da Cruz	642,4	125,3	3,1								0,1	229,2
Ponta do Esp. Amarelo	570,9	87,7	2,3								6,1	333,0
Ilhéu de Branca	476,3	101,1	7,6	2,9	0,6	0,8	2,5	5,1	2,5	5,1	58,9	340,7
São Lourenço	528,4	202,1	20,1	5,3	7,1	4,2	8,1	9,0	7,9	8,1	19,7	180,1
Enseada	172,9	18,8	8,9	7,2	8,7	7,7	14,3	20,2	14,5	27,8	205,2	493,8
Canical			460,8	310,1	83,7	59,5	85,9					
Machico		0,3	423,7	350,5	91,2	77,8	56,6					
Aeroporto		6,7	635,3	182,4	55,5	55,2	65,0					
Ponta do Garajau	0,1	0,2	28,8	430,3	63,7	40,0	43,4	108,0	284,2	1,1	0,1	
Funchal				195,5	321,6	117,7	98,8	237,5	28,9			
Câmara de Lobos				4,7	173,2	89,8	81,9	180,0	470,3	0,1		
Ribeira Brava				0,1	79,5	90,5	79,9	174,9	557,0	18,2		
Ponta do Sol				1,0	75,4	59,6	53,5	104,6	571,2	134,7	0,1	
Calheta					0,7	46,3	76,5	186,9	642,4	47,2		
Paúl do Mar				0,1	0,6	7,0	9,4	22,7	147,2	551,3	261,5	0,3

Tabela B.17: Média (Méd.) e desvio padrão (D.P.) da variação anual da direcção da potência (°). Fonte: <http://www2.areas.pt/ondatlas/madeira.htm>

Mês Localidade	Janeiro		Fevereiro		Março		Abril		Maio		Junho		Julho		Agosto		Setembro		Outubro		Novembro		Dezembro		Anual	
	Méd.	D.P.	Méd.	D.P.	Méd.	D.P.	Méd.	D.P.	Méd.	D.P.	Méd.	D.P.	Méd.	D.P.	Méd.	D.P.	Méd.	D.P.	Méd.	D.P.	Méd.	D.P.	Méd.	D.P.	Méd.	D.P.
Ponta do Pargo	303	36	314	31	321	28	327	28	318	29	338	30	348	35	343	32	332	28	322	28	315	30	308	34	324	32
Achadas da Cruz	305	41	311	39	322	33	327	33	318	34	336	31	347	34	340	32	332	31	322	33	316	35	309	39	322	34
Ponta do Tristão	312	44	319	41	325	36	330	34	320	39	336	32	351	32	343	31	333	33	324	36	322	38	312	43	325	39
Porto do Moniz	356	22	358	21	359	20	359	20	351	26	358	21	12	14	2	18	356	22	356	22	357	22	356	22	357	24
Ponta das Contreiras	5	18	8	16	8	16	10	15	357	24	5	18	20	12	9	15	3	19	3	20	6	17	5	18	5	19
Seixal	352	24	354	24	355	22	356	21	349	27	356	21	9	16	359	20	353	24	352	24	353	24	352	24	354	25
São Vicente	333	37	336	36	342	31	344	30	338	34	348	28	3	25	351	27	344	30	338	33	336	35	334	36	340	34
Ponta Delgada	322	39	327	37	333	32	338	30	331	33	344	28	354	28	345	28	339	29	332	33	329	35	325	37	333	34
Ponta de São Jorge	328	36	332	35	336	31	340	29	332	34	344	27	356	25	346	26	340	29	334	32	333	33	330	35	335	34
Ponta do Clérigo	1	21	3	19	3	19	3	19	353	27	360	21	14	14	4	8	359	22	358	22	1	20	1	20	0	23
Faial	1	20	4	19	3	19	3	19	353	27	0	21	14	14	4	18	359	22	358	23	1	20	1	21	1	23
Porto da Cruz	359	21	1	20	1	19	2	19	353	26	359	21	13	14	3	18	358	22	357	23	359	21	359	21	359	23
Ponta Esp. Amarelo	351	24	354	23	354	22	355	22	347	27	354	22	6	16	357	20	352	24	351	25	352	24	351	24	352	26
Ilhéu de Branca	344	32	348	31	348	30	350	29	339	36	349	30	5	25	354	27	347	31	343	33	345	32	344	33	346	36
São Lourenço	355	55	3	31	357	34	357	34	339	46	354	36	14	29	4	31	355	35	347	40	355	35	349	39	354	45
Enseada	325	44	335	41	334	40	338	40	330	42	345	38	355	39	350	38	343	38	329	42	327	44	322	45	336	52
Canical	135	40	122	32	125	34	114	30	134	40	101	30	87	35	92	32	105	29	129	36	129	36	136	41	119	33
Machico	131	35	118	28	121	30	112	27	130	35	101	27	88	32	93	29	104	26	125	32	126	32	132	36	116	30
Aeroporto	126	40	111	31	115	33	103	29	124	39	91	29	79	33	83	31	95	28	118	35	119	36	127	41	109	33
Ponta do Garajau	206	76	194	71	186	66	188	67	220	85	179	64	111	80	128	70	178	64	202	73	197	72	200	73	188	68
Funchal	185	46	175	43	177	43	175	43	194	51	166	41	131	52	140	47	163	41	189	48	184	46	186	46	173	43
Câmara de Lobos	223	46	220	47	217	45	222	46	236	51	225	47	196	47	206	45	222	46	221	46	219	46	220	45	220	48
Ribeira Brava	227	37	226	38	226	37	231	37	243	40	241	40	230	37	228	37	235	38	230	37	226	37	224	37	231	40
Ponta do Sol	239	38	239	40	237	38	243	39	253	41	254	42	248	39	244	39	247	40	240	38	237	39	235	39	243	43
Calheta	232	27	234	27	235	26	241	25	250	26	254	28	253	27	248	25	246	25	239	25	233	27	230	28	242	28
Paúl do Mar	269	28	276	26	278	24	286	22	290	22	299	25	307	30	304	28	295	24	284	22	276	25	270	28	287	26

Tabela B.18: Densidade de probabilidade da direcção da potência ($\frac{\%}{^\circ}$). Fonte: <http://www2.areas.pt/ondatlas/madeira>.

Direcção Localidade	0° – 30°	30° – 60°	60° – 90°	90° – 120°	120° – 150°	150° – 180°	180° – 210°	210° – 240°	240° – 270°	270° – 300°	300° – 330°	330° – 0°
Ponta do Pargo	104,8	0,3				0,1	2,5	9,1	37,9	180,5	265,2	399,6
Achadas da Cruz	262,4	0,1							24,9	187,4	224,5	300,7
Ponta do Tristão	371,7	35,2							5,1	136,8	211,1	240,2
Porto do Moniz	629,9	138,6	1,9								0,3	229,2
Ponta das Contreiras	699,3	180,7	1,3									118,8
Seixal	602,0		0,2								2,1	275,6
São Vicente	450,0	123,0	0,1							0,2	170,9	255,8
Ponta Delgada	440,4	29,2								50,0	211,7	268,8
Ponta de São Jorge	437,2	62,1	2,8							7,3	225,2	265,4
Ponta do Clérigo	631,2	178,2	6,0	0,1							0,2	184,4
Faial	631,6	185,3	6,0	0,1							0,1	177,0
Porto da Cruz	639,0	158,4	4,2	0,1							0,1	198,2
Ponta do Esp. Amarelo	591,1	110,8	2,8	0,1							5,3	289,9
Ilhéu de Branca	488,8	137,1	10,6	4,5	1,4	1,4	2,7	6,6	2,7	6,6	54,5	287,2
São Lourenço	486,3	245,8	29,7	7,1	8,4	5,5	9,8	11,6	8,2	10,3	22,2	155,2
Enseada	279,7	37,7	19,0	15,5	14,7	12,6	21,8	23,1	20,5	18,3	154,5	381,6
Canical			315,4	426,8	105,4	74,5	78,0					
Machico			269,1	486,5	109,5	95,6	39,4					
Aeroporto		0,3	552,9	252,5	70,9	68,9	54,5					
Ponta do Garajau			2,9	453,0	99,1	60,4	60,7	162,0	161,8			
Funchal				117,3	401,7	144,0	110,6	221,9	4,6			
Câmara de Lobos				1,3	201,3	122,5	113,8	208,9	352,3			
Ribeira Brava				0,1	77,9	128,9	116,6	216,3	457,4	2,8		
Ponta do Sol				0,1	78,4	92,3	79,1	146,5	535,2	68,3	0,1	
Calheta					0,3	57,6	111,7	235,0	573,9	21,5		
Paúl do Mar					0,6	11,1	13,4	31,0	153,8	521,9	267,9	0,3

Anexo C

Cobertura e Caracterização do Tráfego Marítimo



Legenda

Ilha da Madeira

Rotas Marítimas Principais

Designação

Rota 1 Classe

Rota 2 Classe

Rota 3 Classe

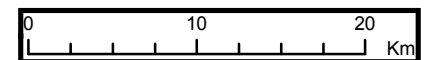


Fig. C.1: Cobertura e caracterização do tráfego marítimo, em redor da Ilha da Madeira

Zonas de Conflito

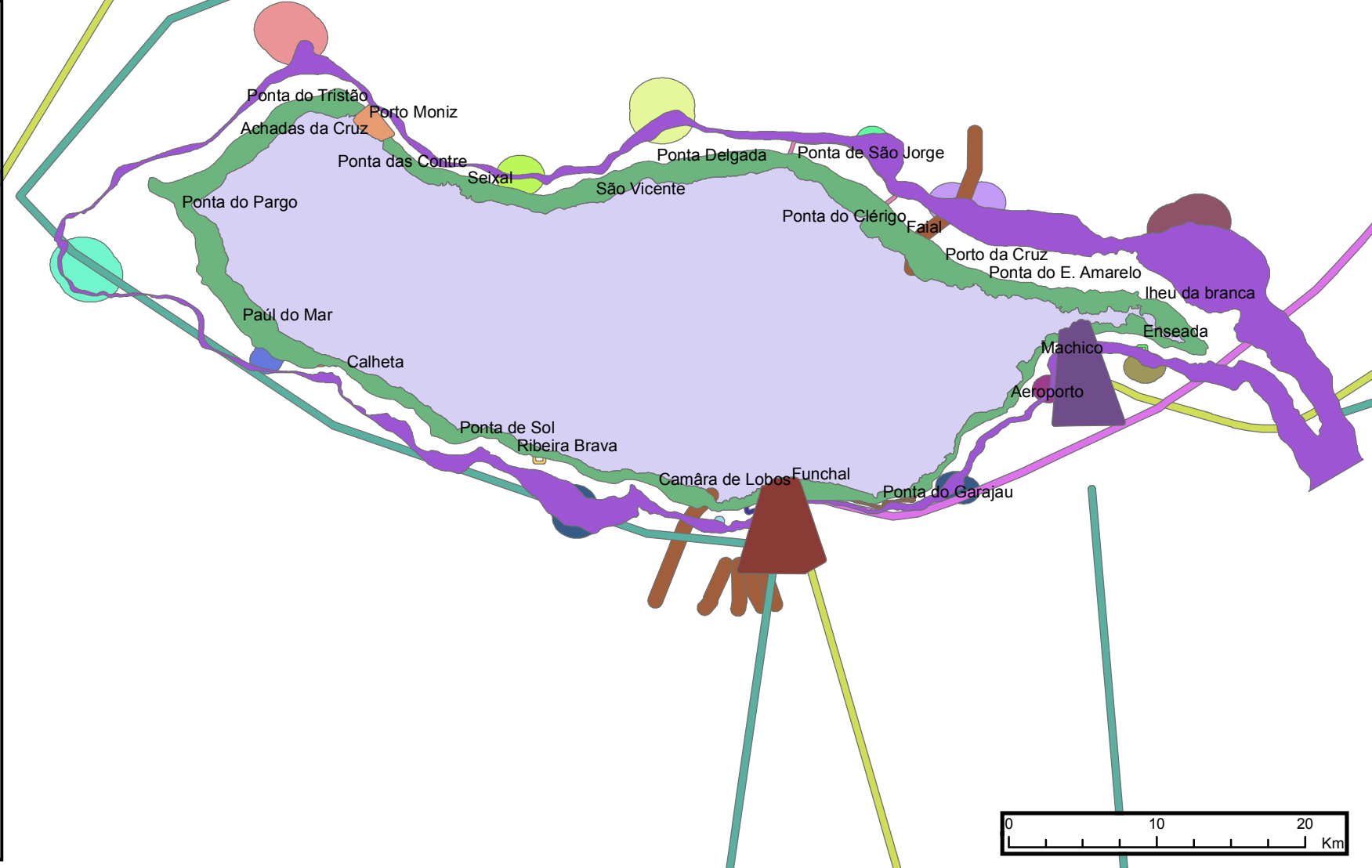
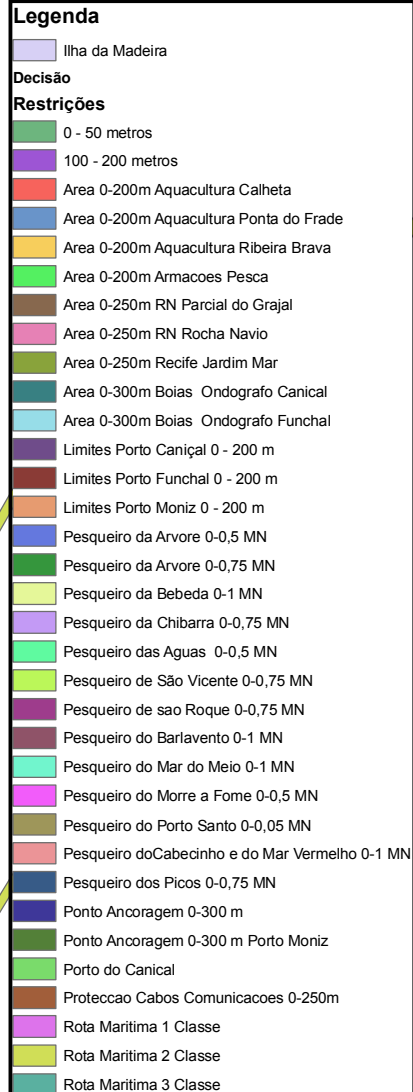


Fig.C.2: Zonas de conflito de uso marítimo em redor da Ilha da Madeira

Sítios Classificados e Parques Naturais

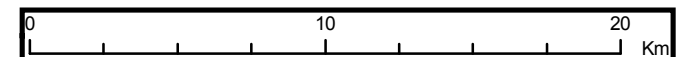
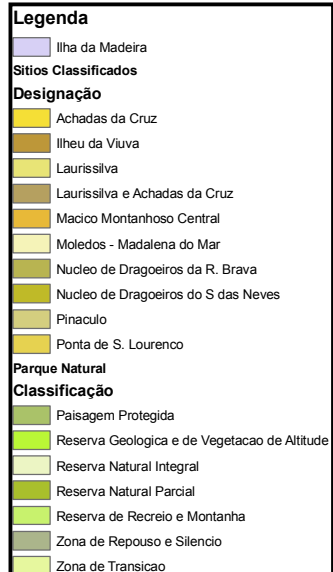
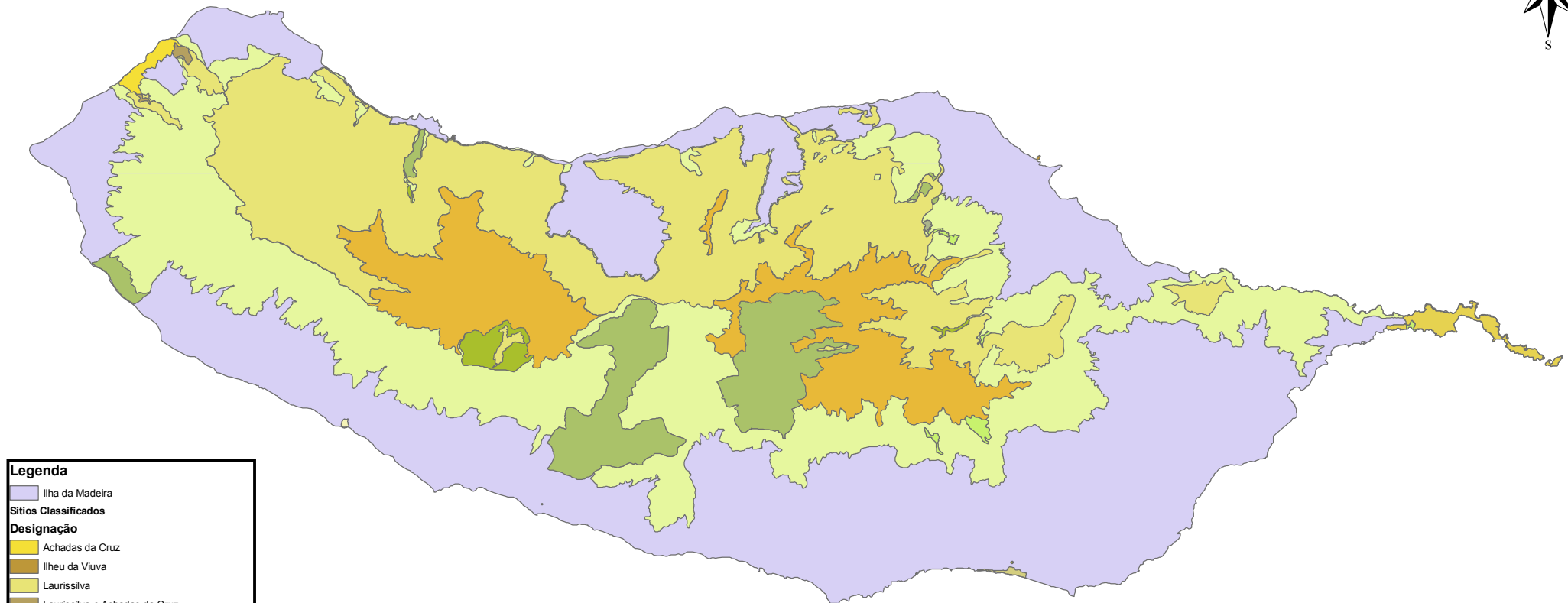


Fig.C.3: Parques Naturais e outras áreas classificadas, dentro da Ilha da Madeira

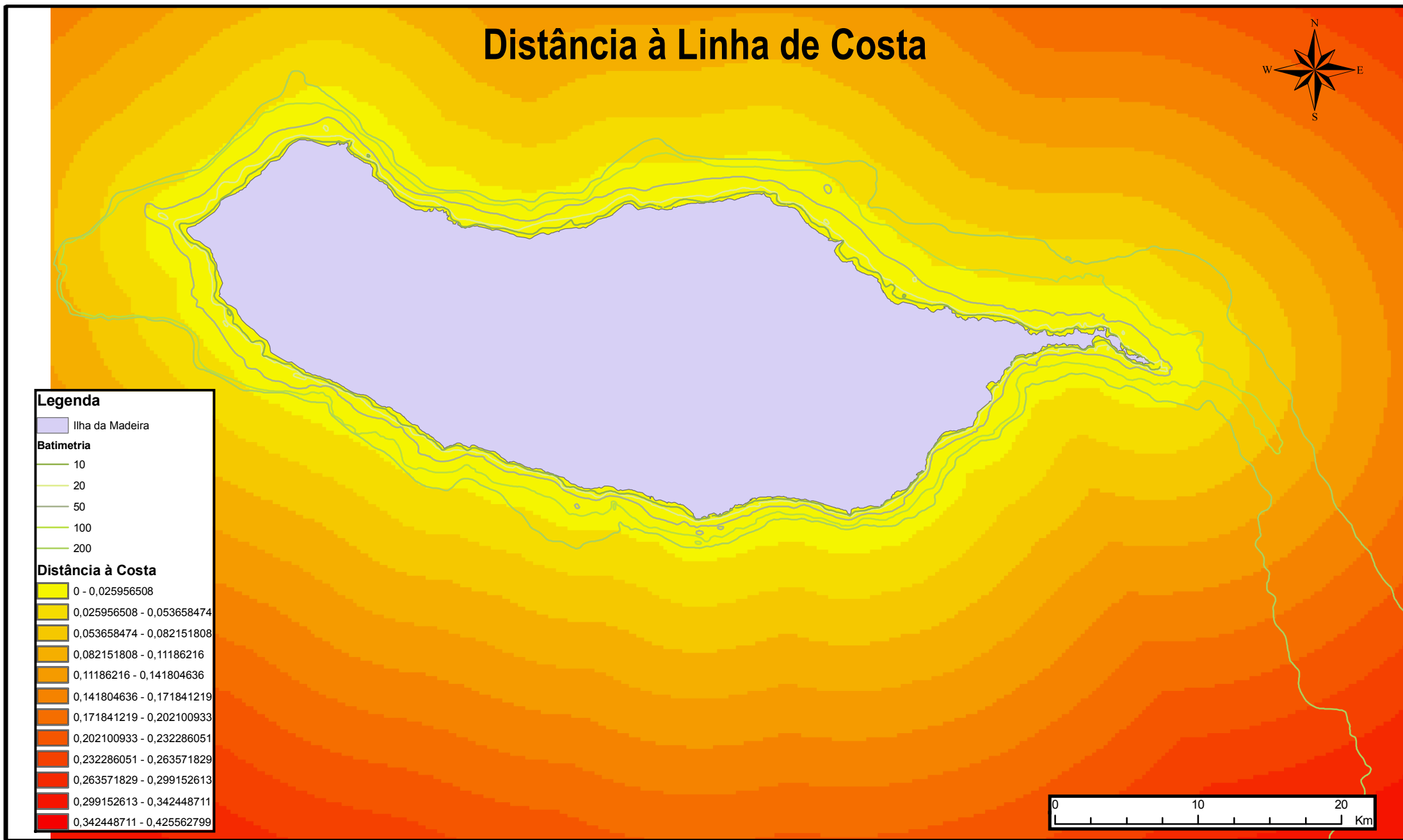


Fig.C.4: Classificação da distância em relação à linha de costa da Ilha da Madeira

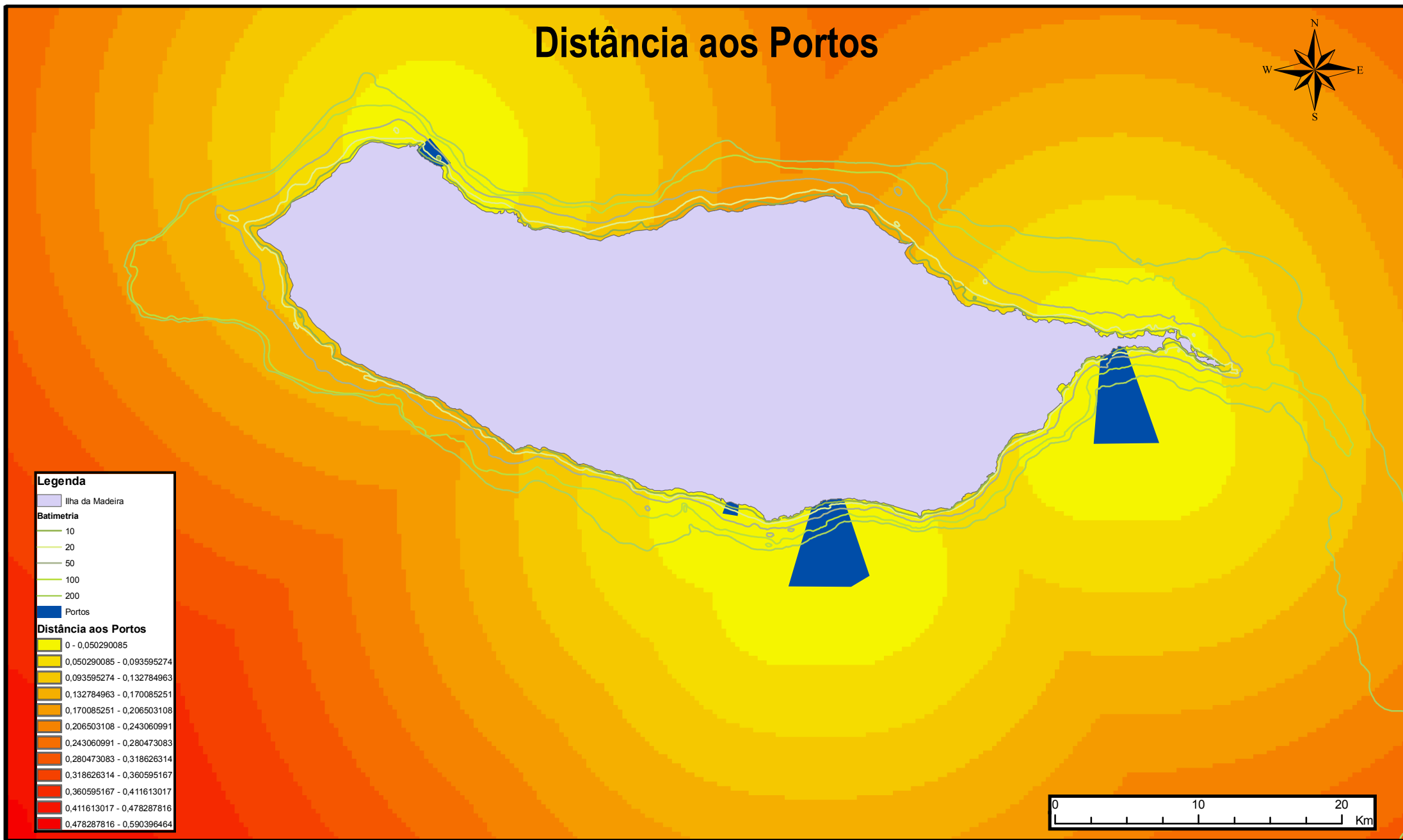


Fig.C.5: Classificação da distância aos principais portos da Ilha da Madeira

Geologia Marinha

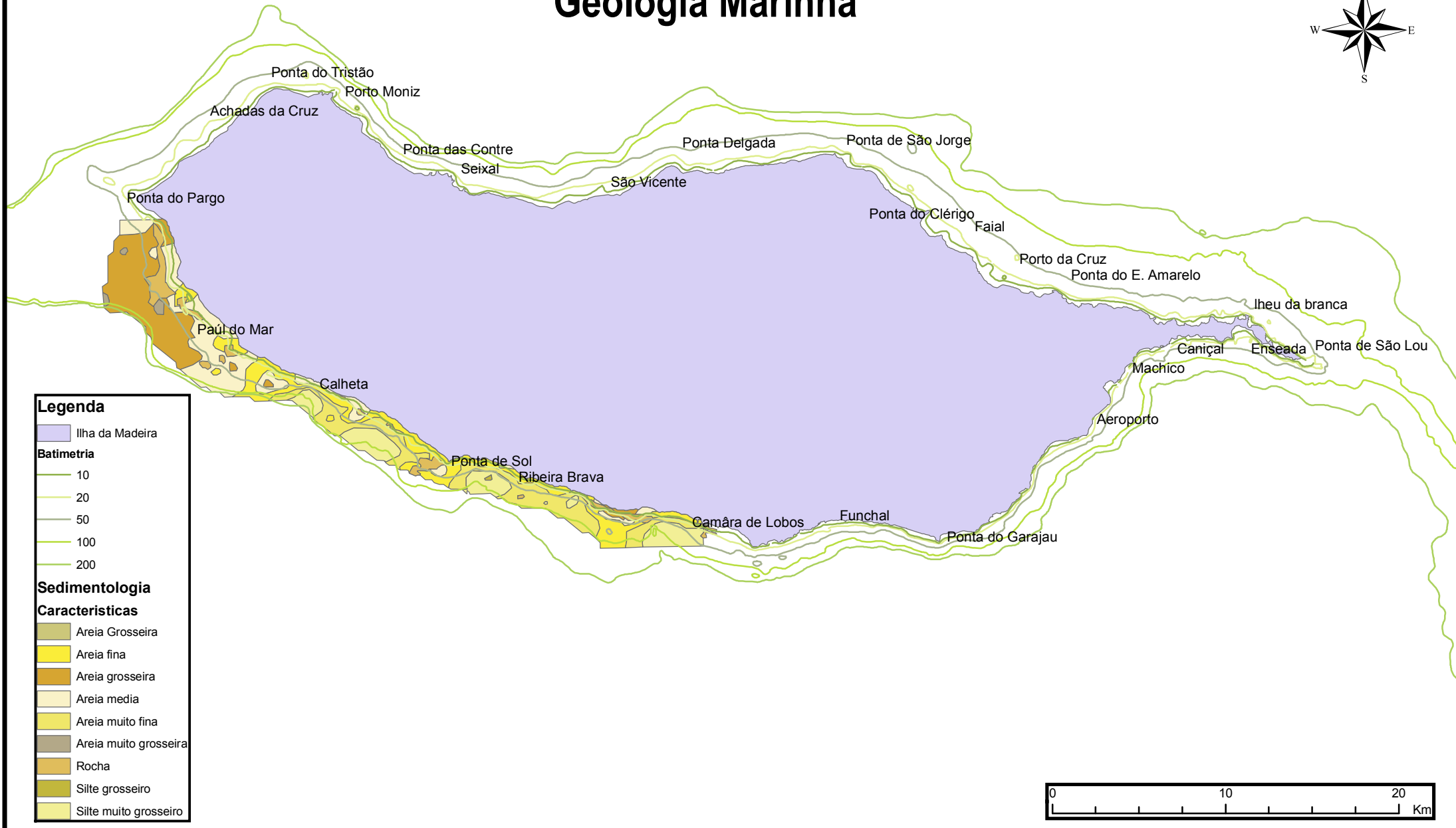


Fig.C.6: Geologia marinha das regiões Oeste e Sudoeste da Ilha da Madeira

Infraestruturas Energéticas

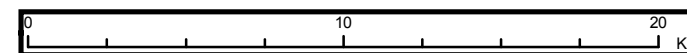
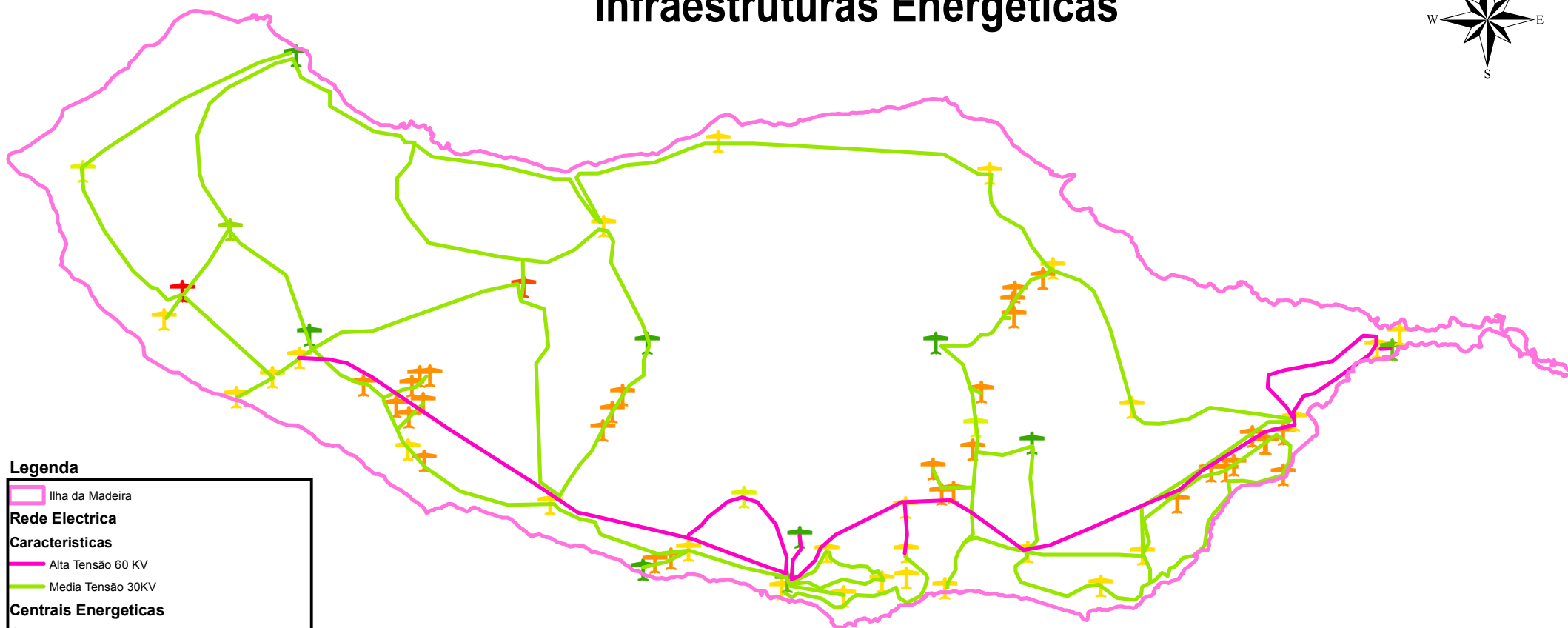
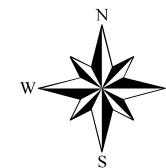


Fig.C.7: Distribuição da rede eléctrica na Ilha da Madeira



Fig.C.8: Classificação da distância da rede eléctrica, em relação à linha de costa da Ilha da Madeira

Profundidade do Fundo Marinho

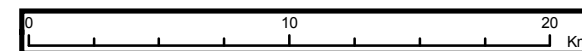
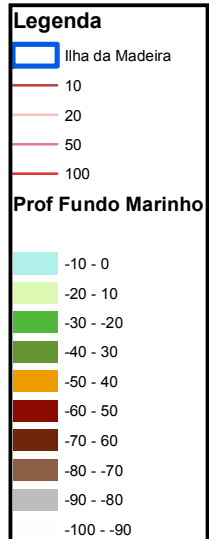
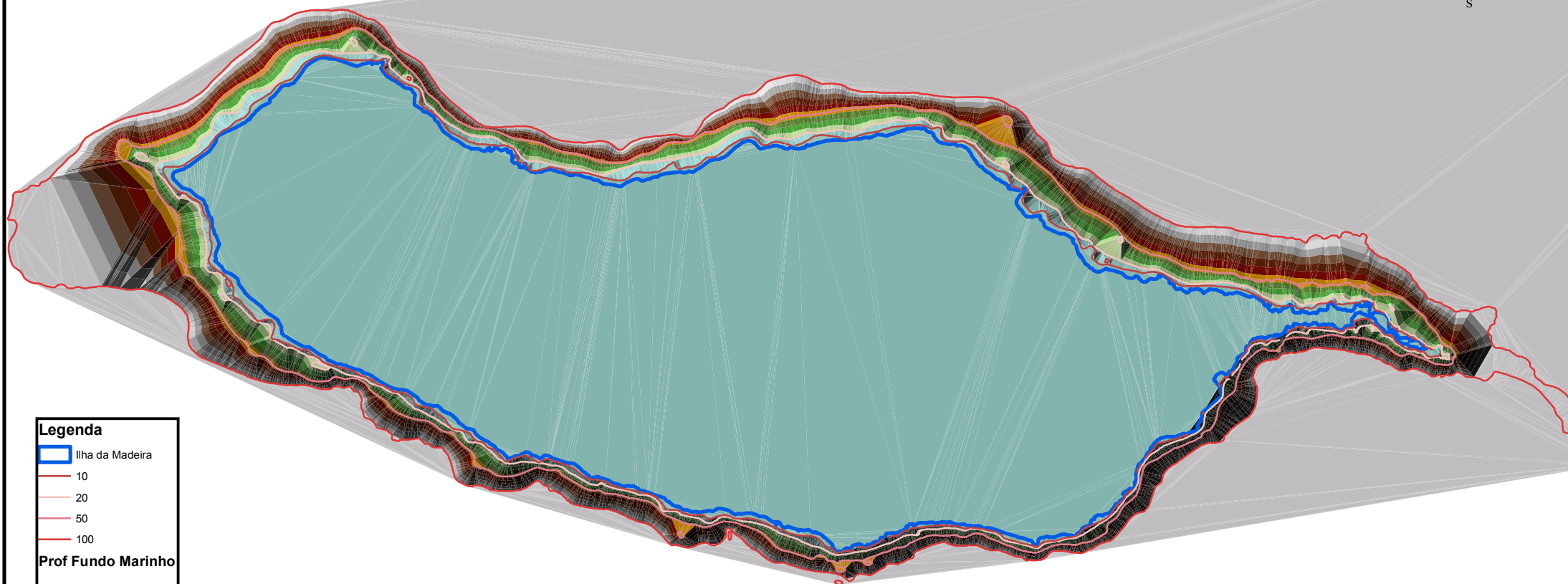
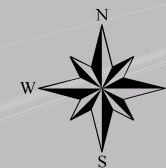


Fig.C.9: Profundidade do fundo marinho (m), determinada a partir da distância entre a linha de costa e a linha batimetrica dos 100 metros

Declive do Terreno

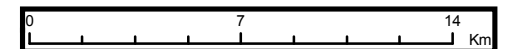
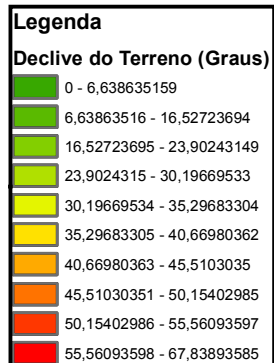
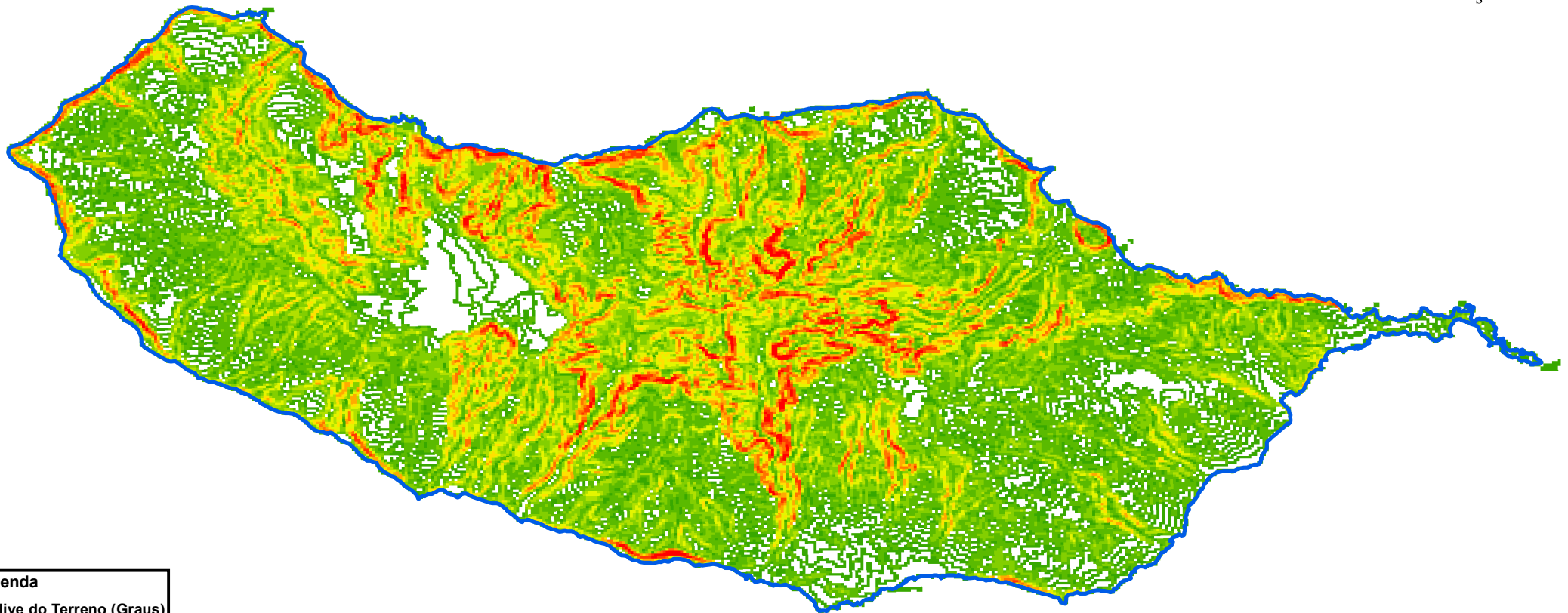


Fig.C.10: Declive da Ilha da Madeira (em graus)

Declive do Fundo Marinho

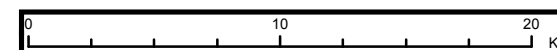
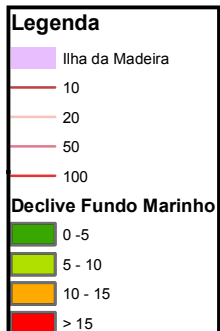
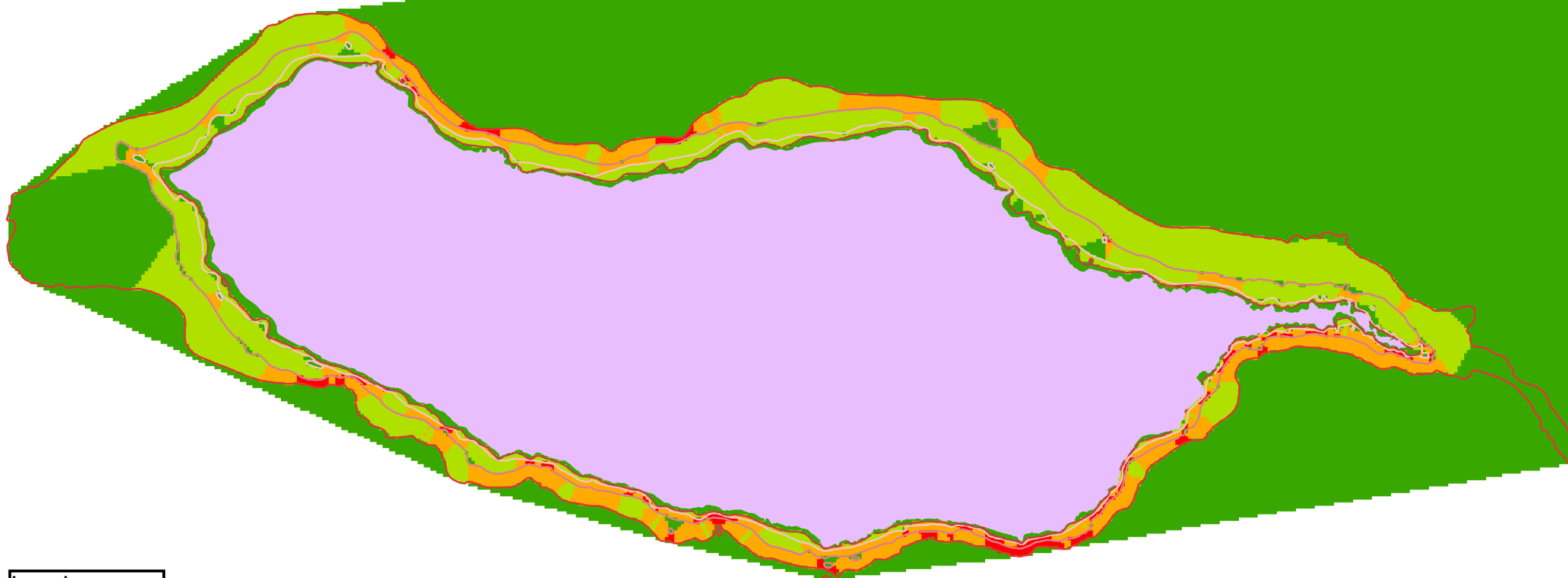
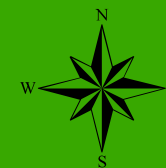


Fig.C.11: Declive do fundo marinho (graus), determinado a partir da distância entre a linha de costa e a linha batimétrica dos 100 metros.

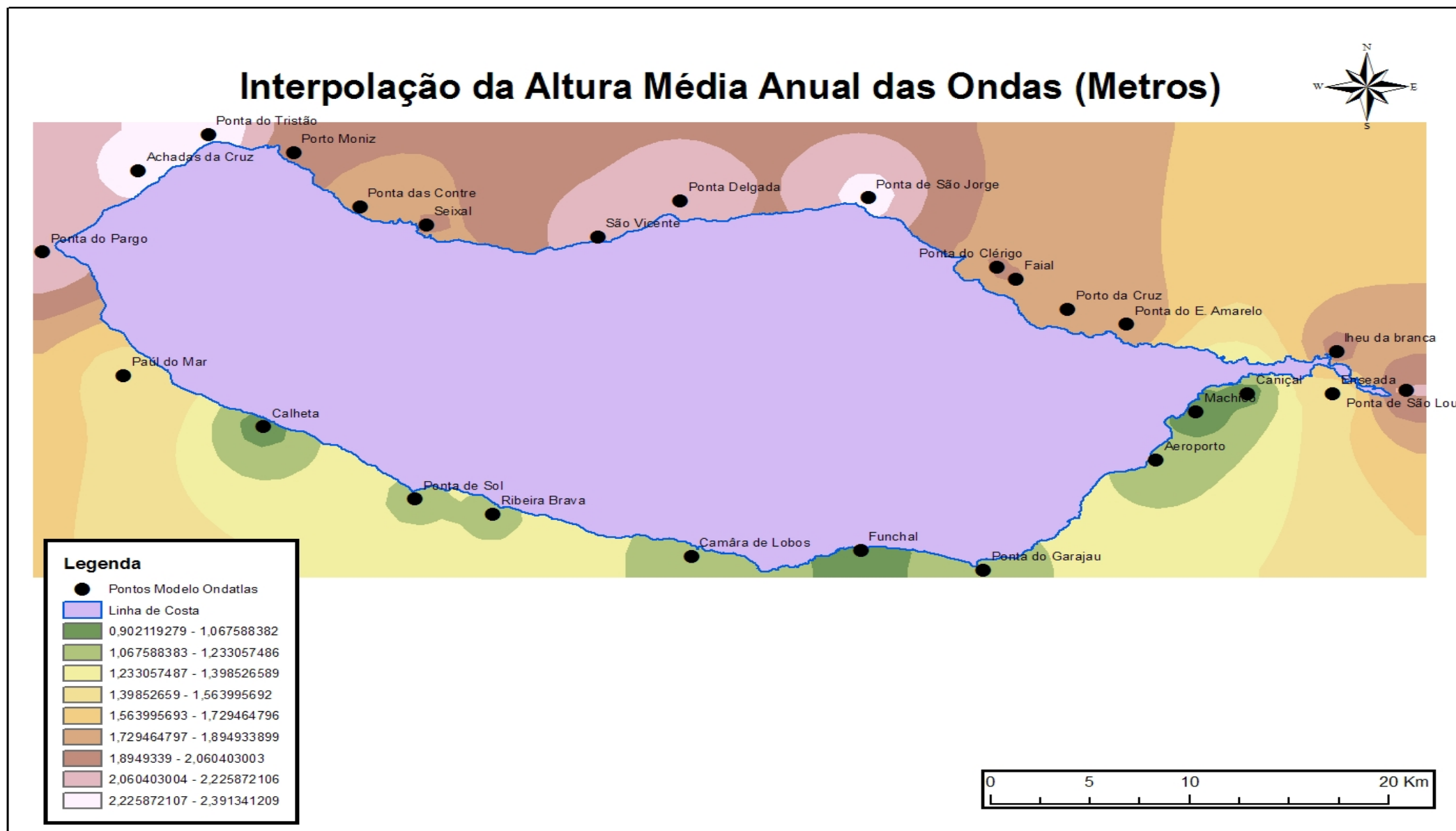


Fig.C.12: Interpolação da altura média anual das ondas (*m*), em redor da Ilha da Madeira.

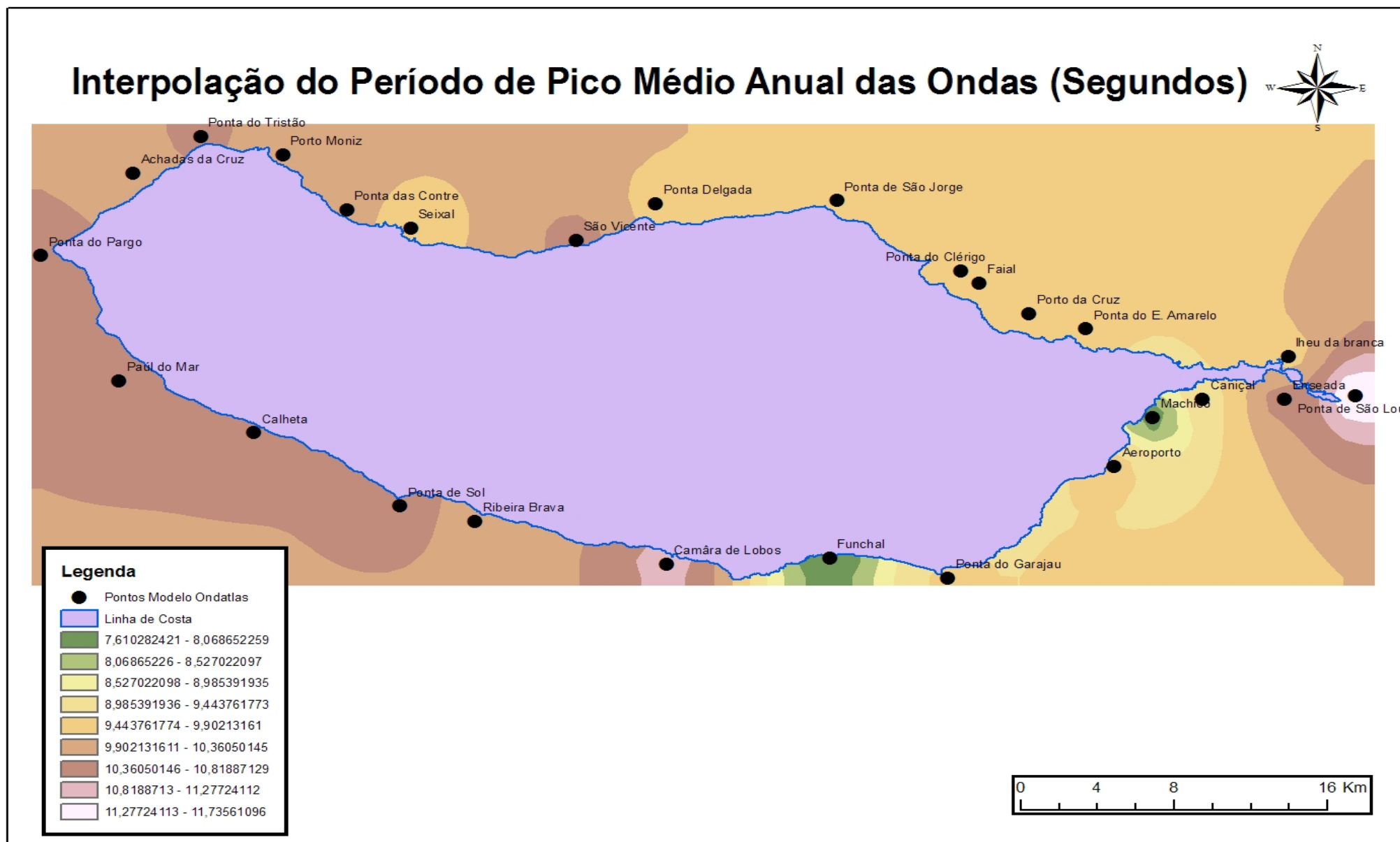


Fig.C.13: Interpolação do período de pico médio anual das ondas (s), em redor da Ilha da Madeira.

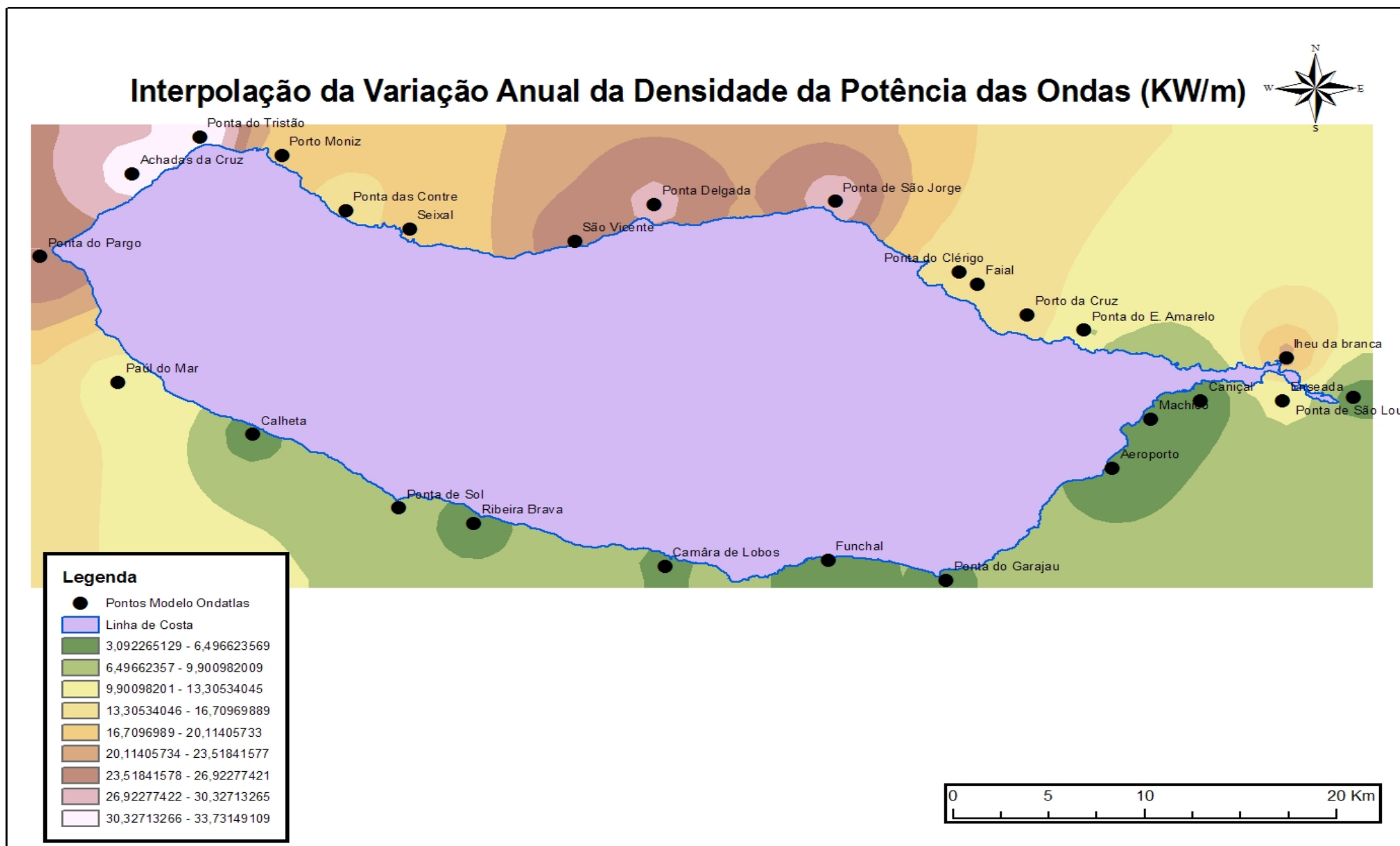


Fig.C.14: Interpolação da variação anual da densidade da potência das ondas (kW/m), em redor da Ilha da Madeira.

Reclassificação do Declive do Terreno

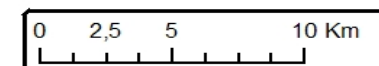
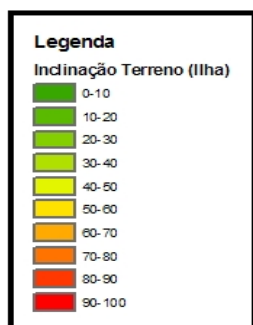
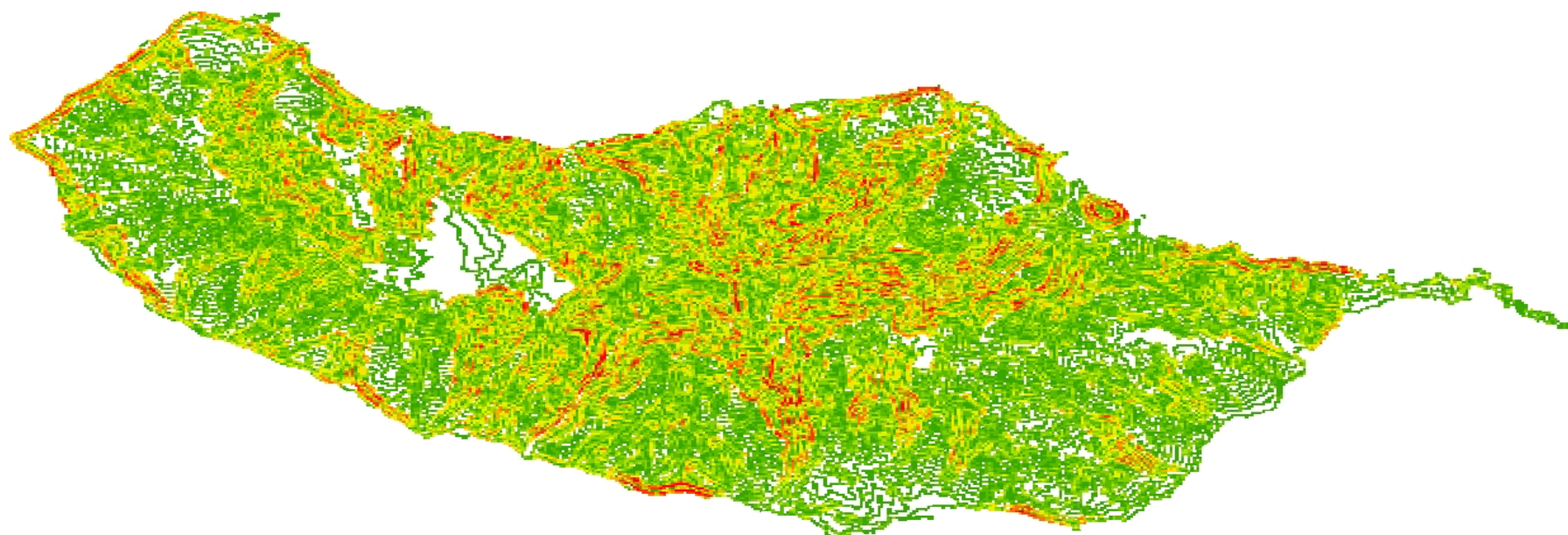


Fig.C.15: Reclassificação (%) do declive da Ilha da Madeira.

Reclassificação do Declive do Fundo Marinho

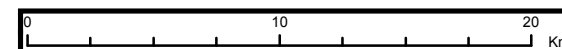
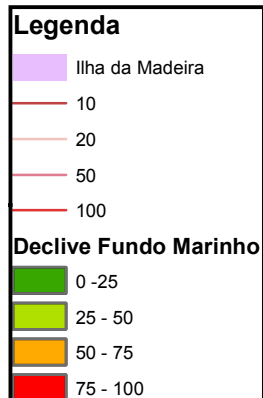
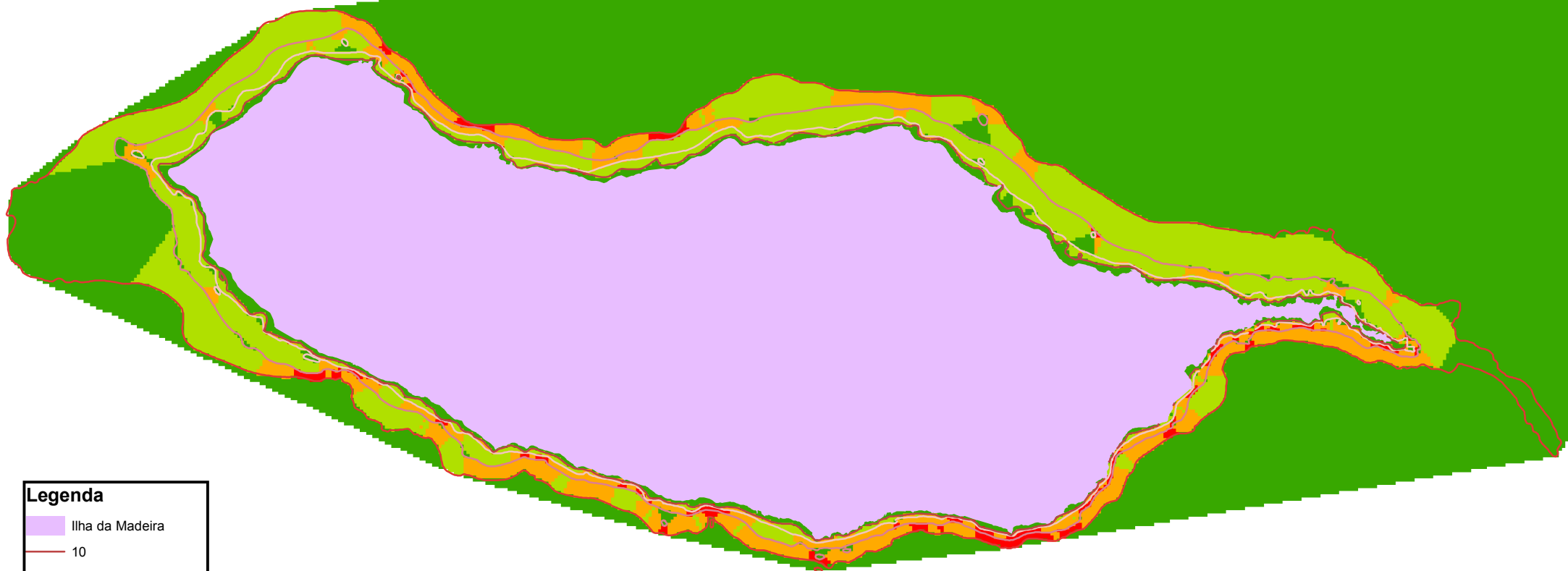


Fig.C.16: Reclassificação (%) do declive do fundo marinho, a partir da distância entre a linha de costa e a linha batimétrica dos 100 metros.

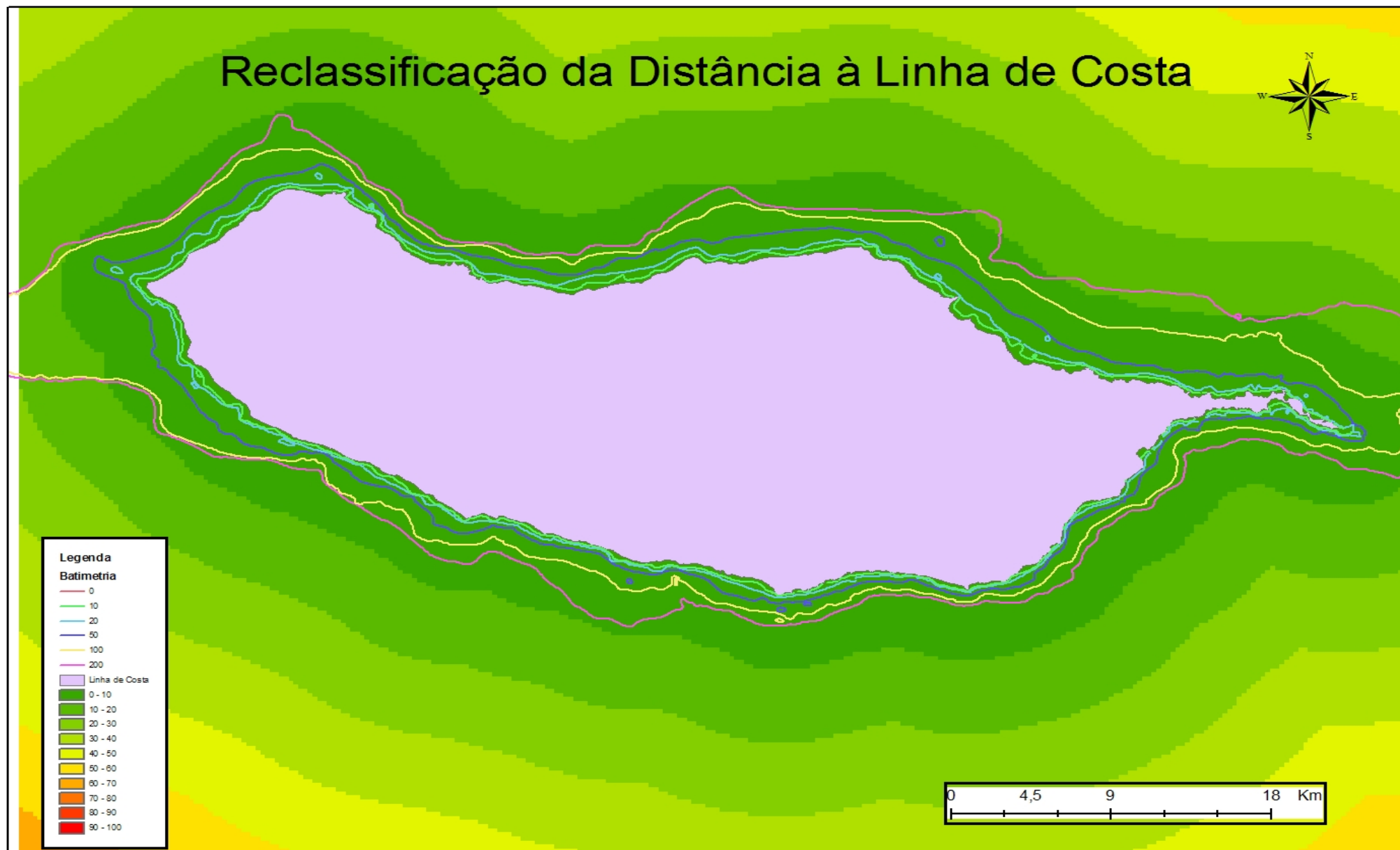


Fig.C.17: Reclassificação (%) da distância em relação à linha de costa da Ilha da Madeira.

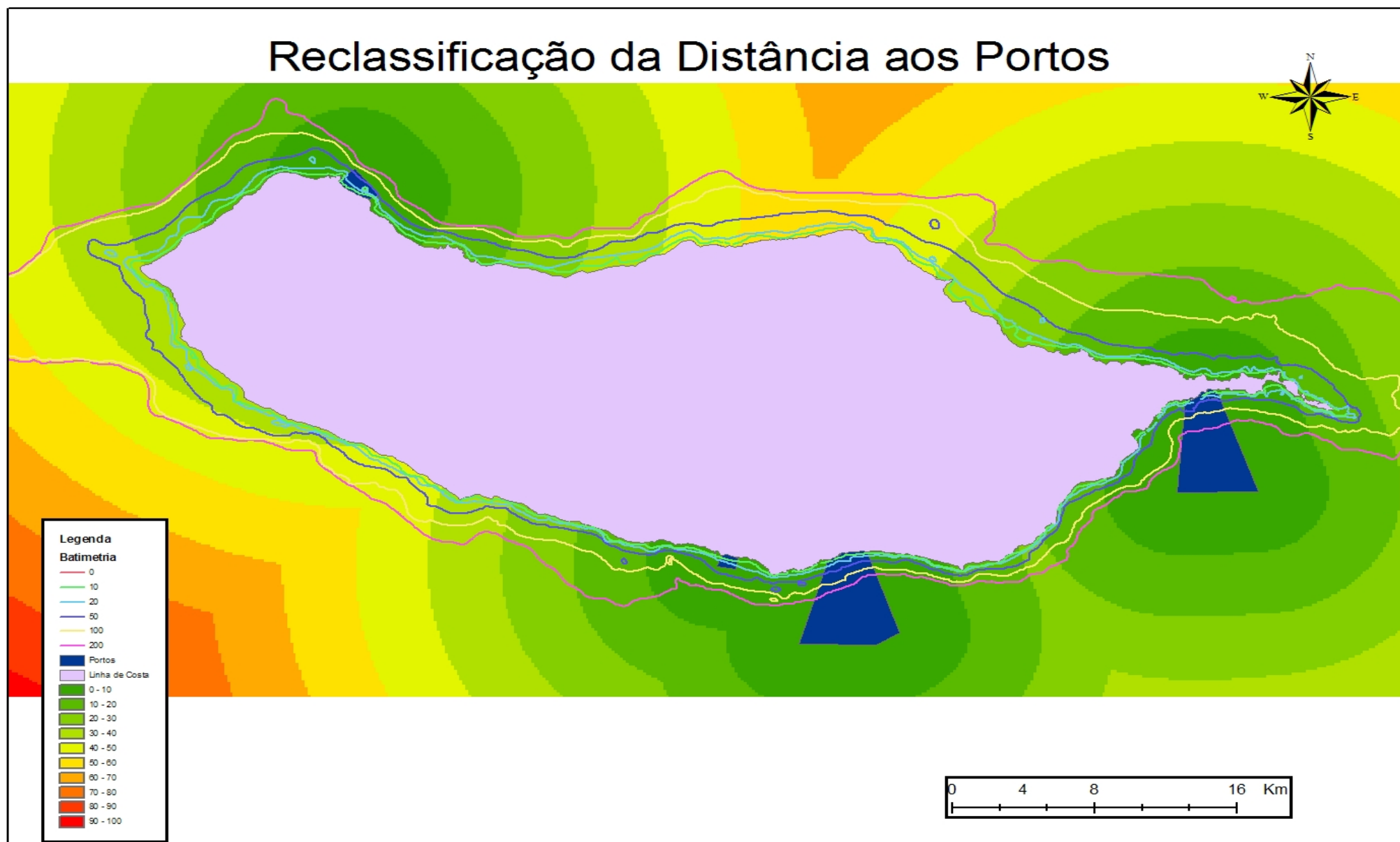


Fig.C.18: Reclassificação (%) da distância aos principais portos da Ilha da Madeira.

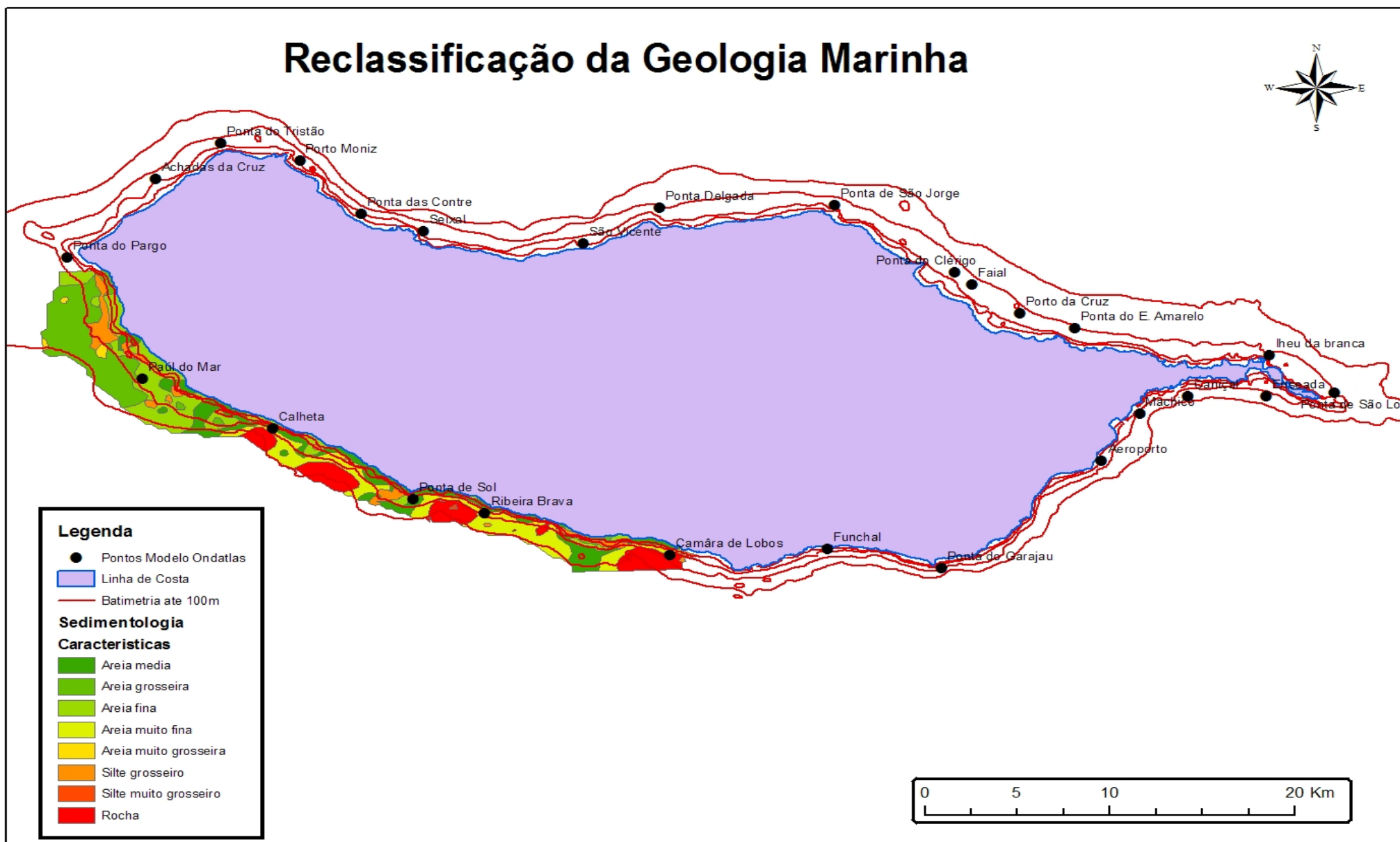


Fig.C.19: Reclassificação (%) da geologia marinha das regiões Oeste e Sudoeste da Ilha da Madeira.

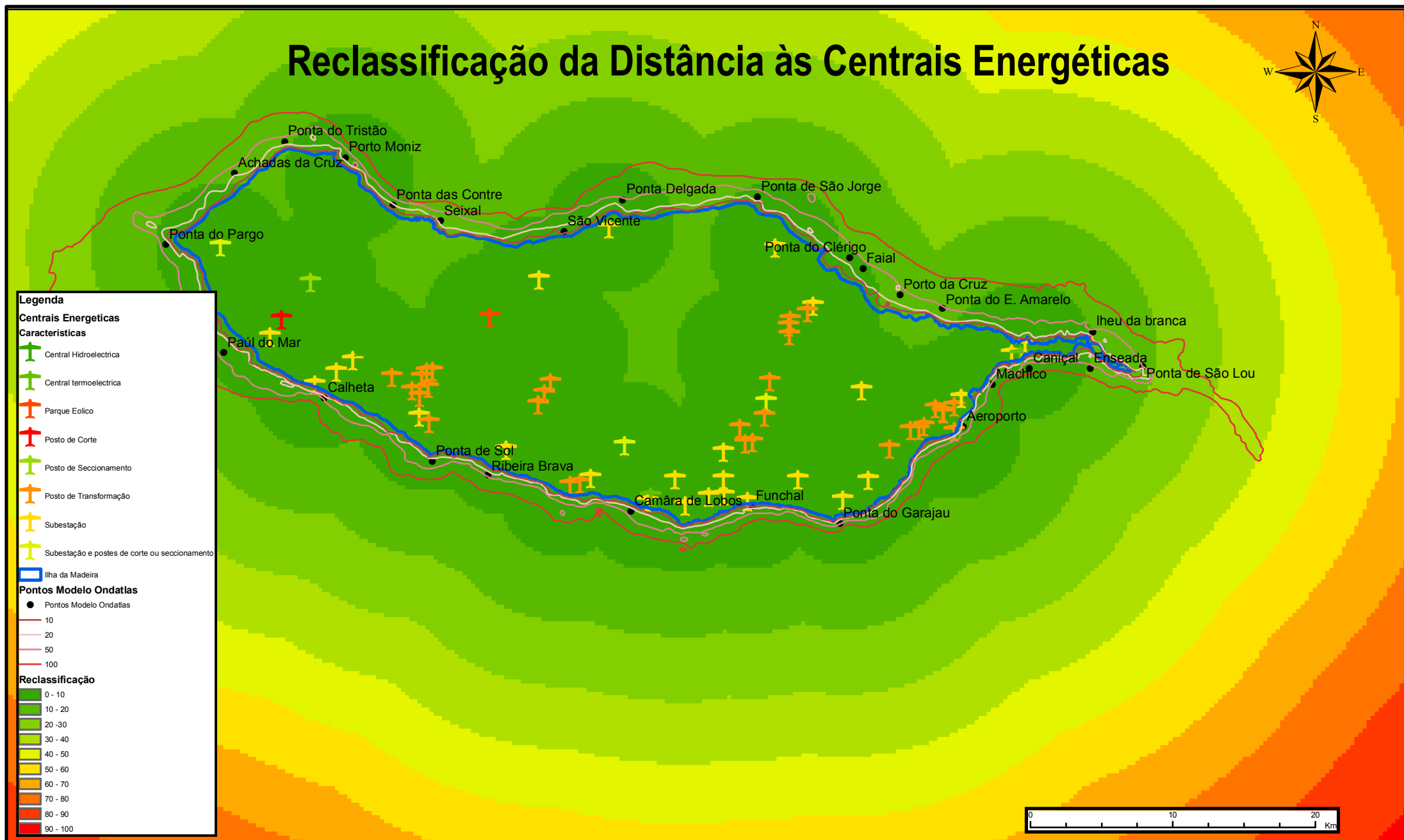


Fig.C.20: Reclassificação (%) da distância da rede eléctrica, em relação à linha de costa da Ilha da Madeira

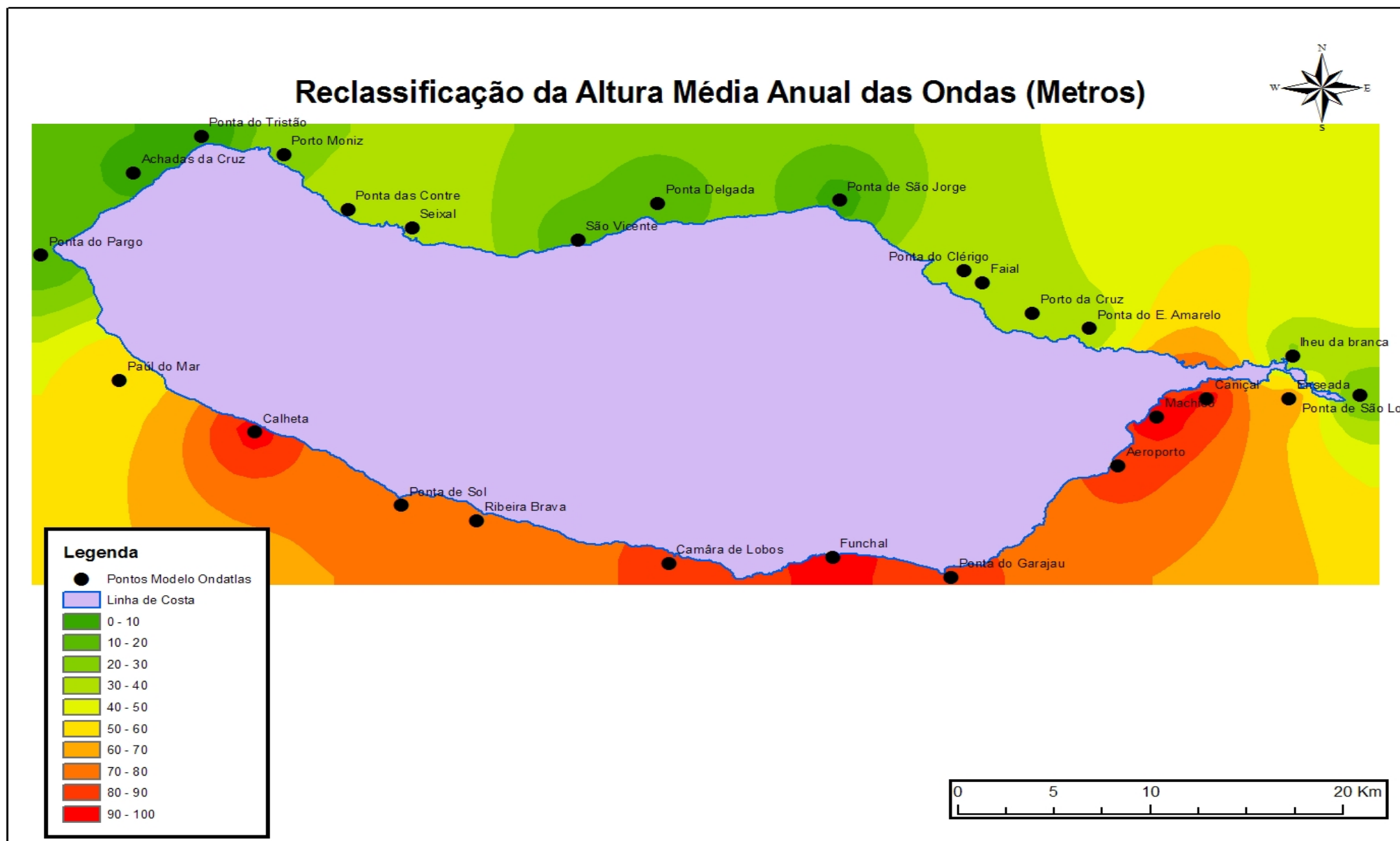


Fig.C.21: Reclassificação (%) da altura média anual das ondas, em redor da Ilha da Madeira.

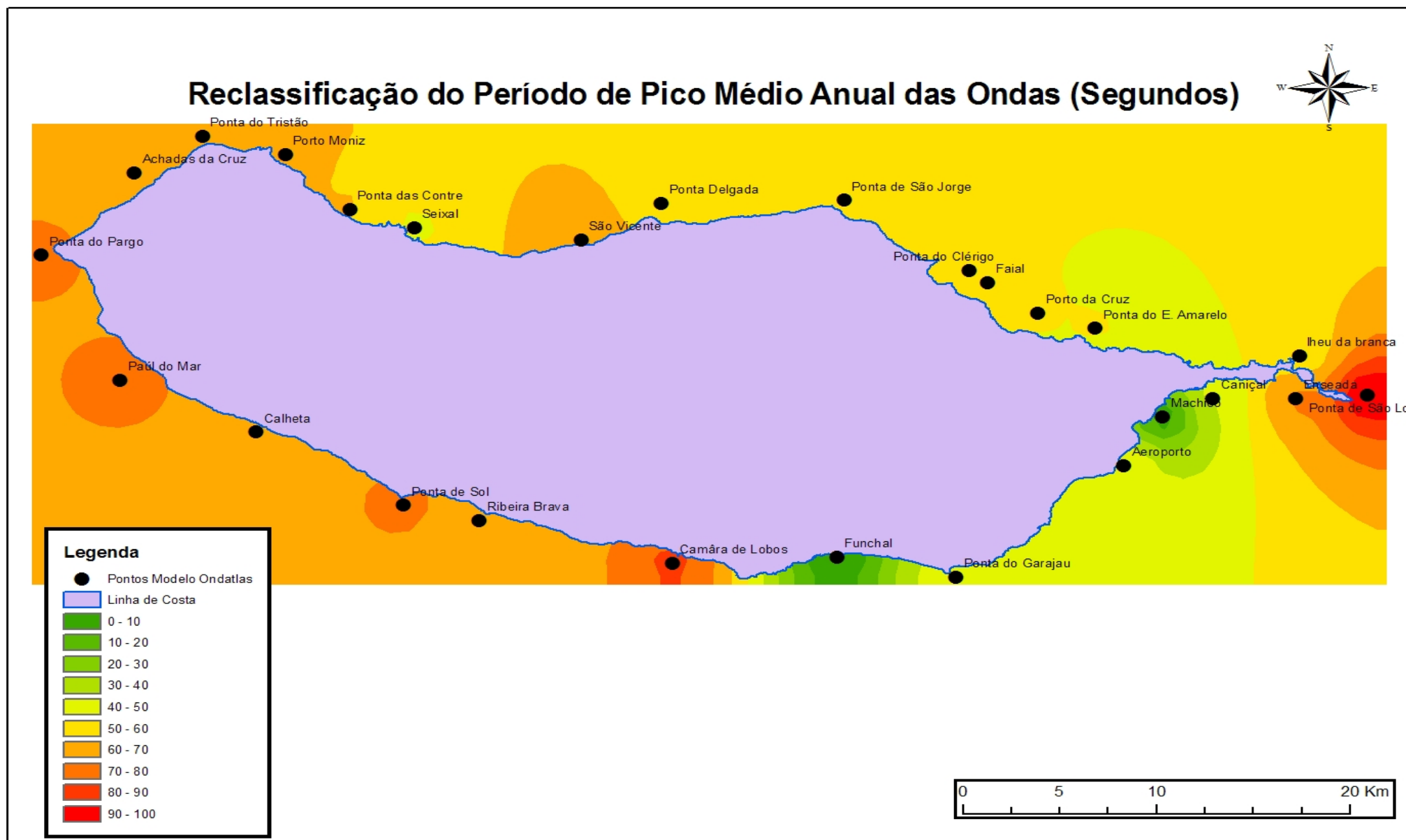


Fig.C.22: Reclassificação (%) do período de pico médio anual das ondas, em redor da Ilha da Madeira.

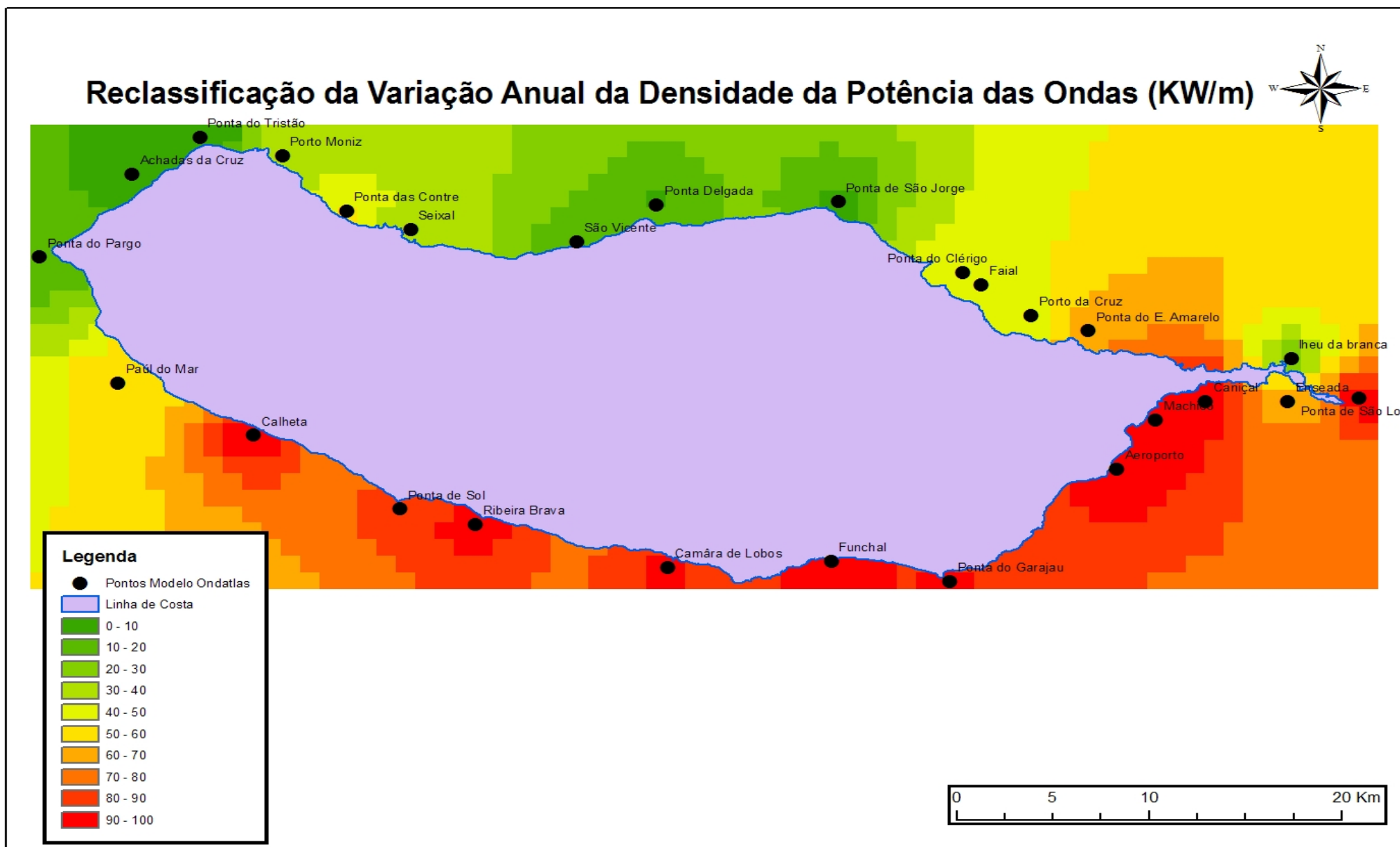


Fig.C.23: Reclassificação (%) da variação anual da densidade da potência das ondas, em redor da Ilha da Madeira.

Resultados Finais dos Factores de Ponderação

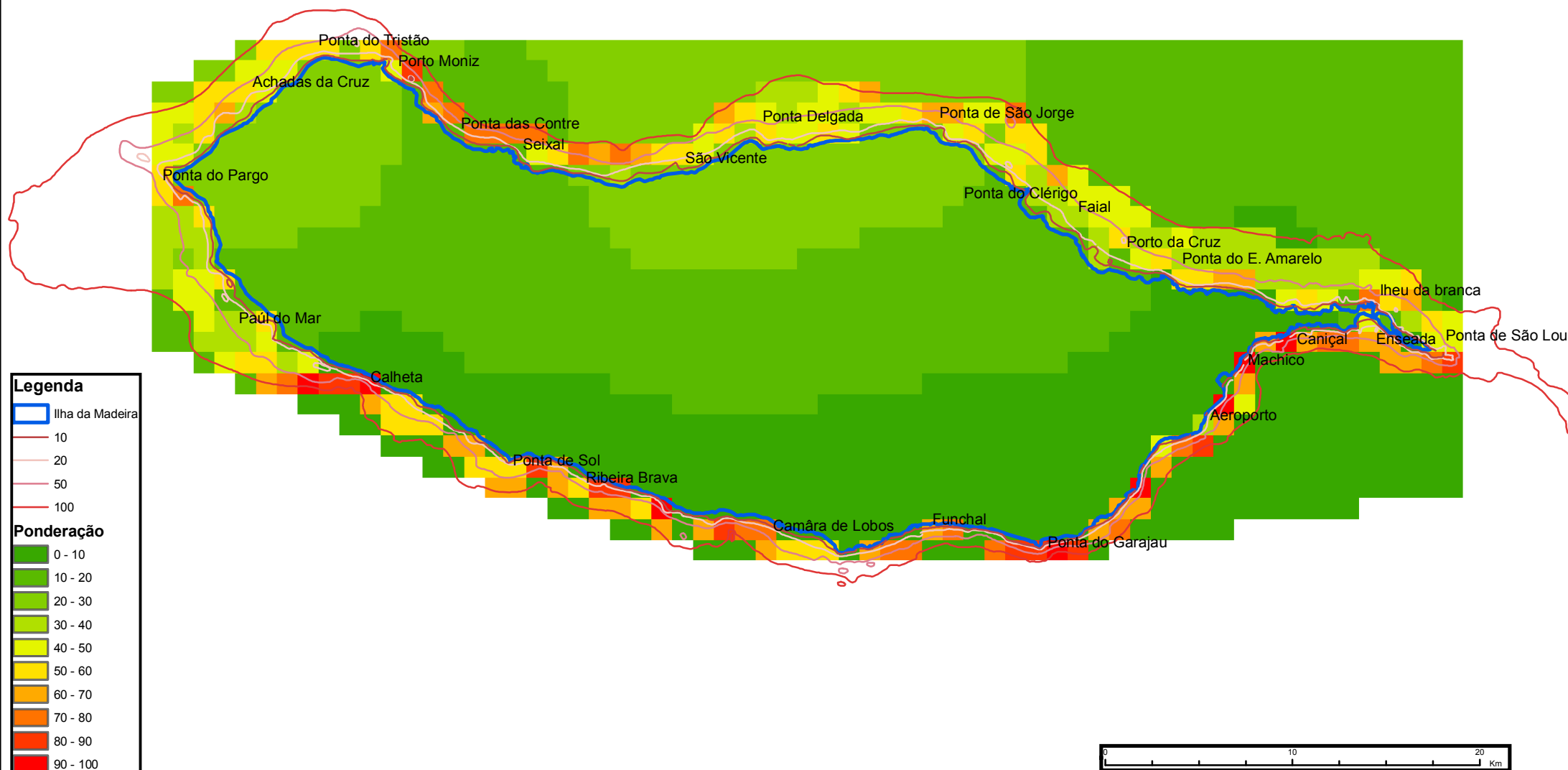
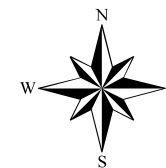


Fig.C.24: Resultados finais dos factores de ponderação, em redor da Ilha da Madeira

Proposta para Possíveis Áreas de Concessão

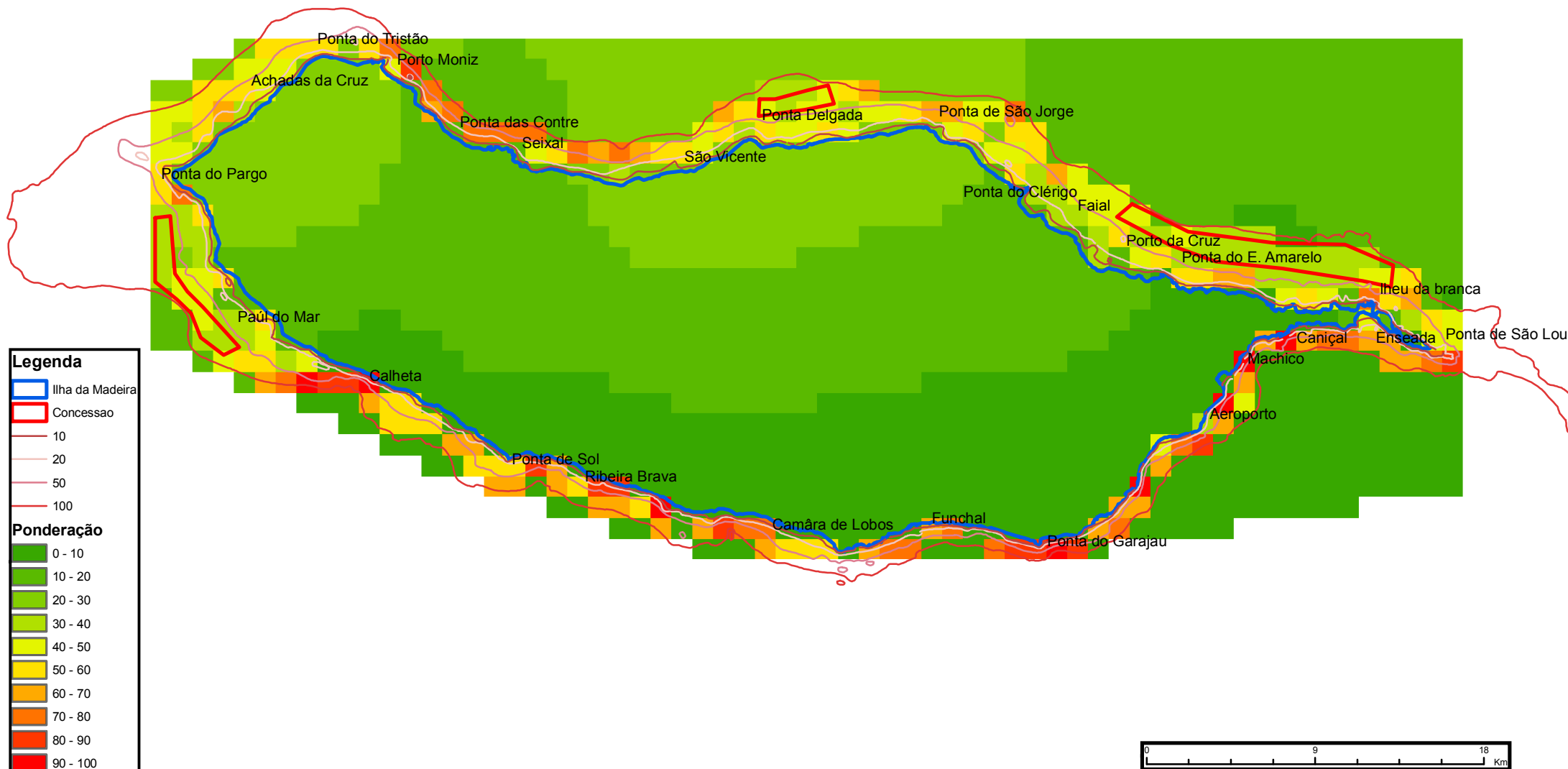
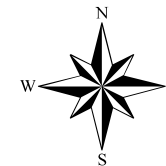


Fig.C.25: Proposta final para possíveis áreas de concessão, ao largo da Ilha da Madeira

Declive do Terreno e Áreas de Concessão

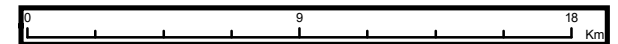
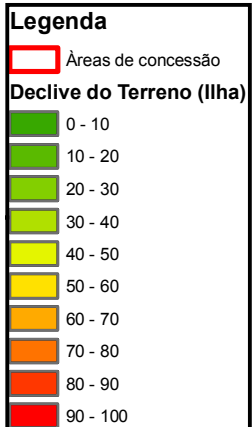
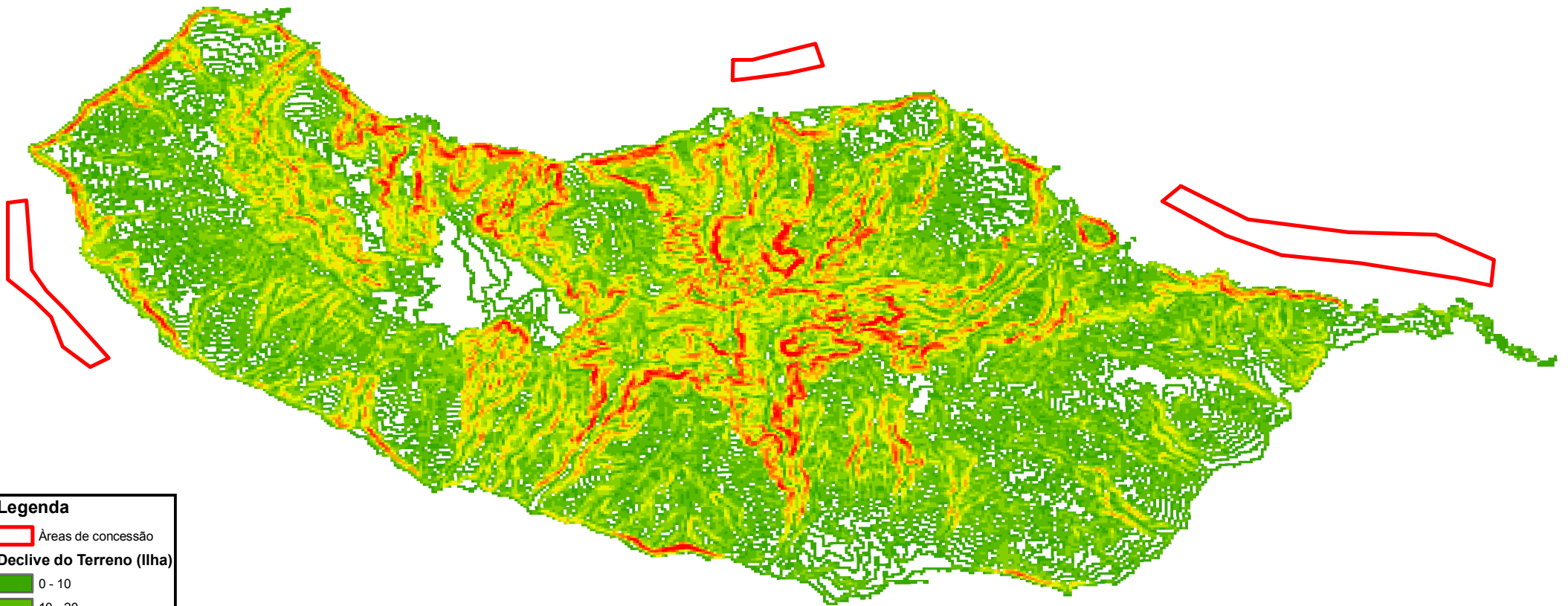


Fig.C.26: Declive do terreno e áreas de concessão

Restrições às Áreas de Concessão

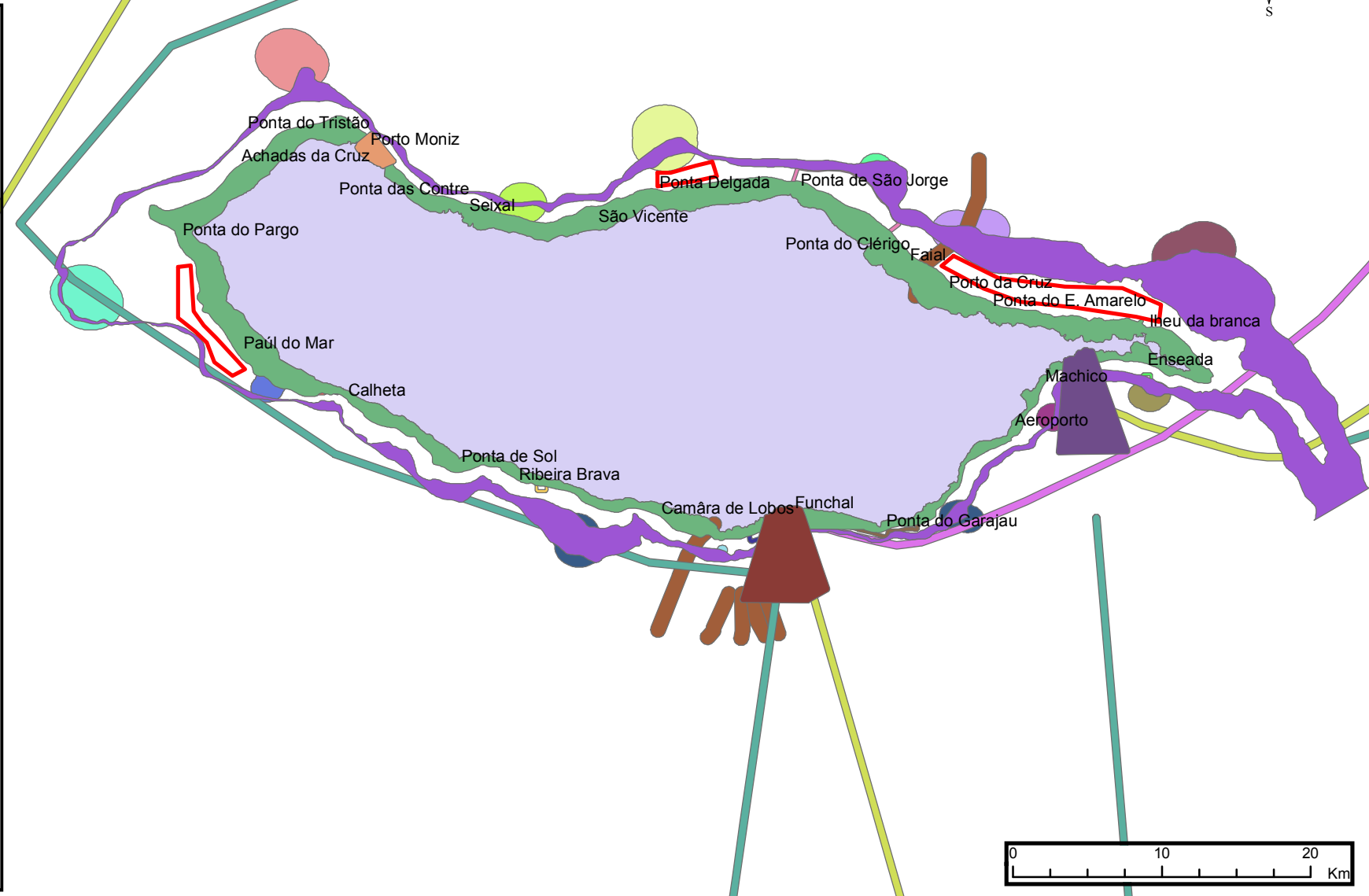
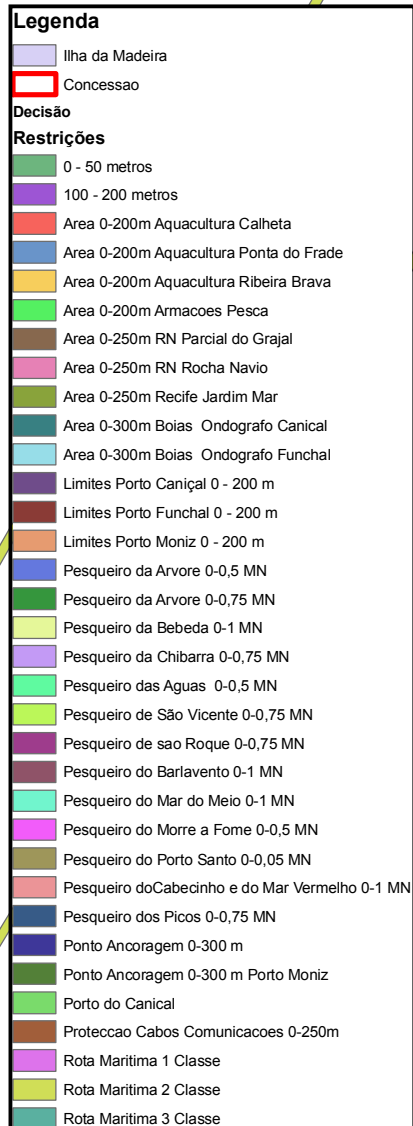
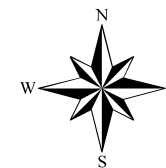


Fig.C.27: Localização das possíveis áreas de concessão relativamente às zonas com conflitos de usos do mar